

EESTI MAAVILJELUSE INSTITUUT

VÄETISTE KÄITLUSTEHNOLOOGIAD JA -MASINAD

KOOSTAJA:
KALVI TAMM

AUTORID:
KALVI TAMM, RAIVO VETTIK, TAAVI VÕSA,
JAANUS SIIM, PEETER VIIL

2013

Väetiste käitlustehnoloogiad ja -masinad

Koostaja: Kalvi Tamm

Autorid: Kalvi Tamm, Raivo Vettik, Taavi Vösa, Jaanus Siim, Peeter Viil

Kaane fotod: Kalvi Tamm, Raivo Vettik, Peeter Viil

Toimetaja: Jaanus Siim

Trükise koostamist ja väljaandmist toetas PRIA MAK meetmest 1.1.

© Eesti Maaviljeluse Instituut

Trükk: AS REBELLIS

ISBN 978-9949-9376-2-2 (trükis)

ISBN 978-9949-9376-3-9 (pdf)

SISUKORD

Summary	6
Sissejuhatus	7
1. Väetamistechnoloogia alused	9
1.1 Väetiste liigid	9
1.2 Üldised nõuded väetisekäitlusele	10
1.3 Väetiste käitlemise tehnoloogilised etapid	12
1.4 Väetiste laotamise ajad ja viisid	12
1.5 Tehnoloogiate valik	12
1.5.1 Valiku alused	12
1.5.2 Vajalik väetamistootlikkus	15
1.6 Laotamiskvaliteediga seotud terminid	16
2. Tahked mineraalväetised	17
2.1 Ülevaade tahketest mineraalväetistest	17
2.2 Käitlustehnoloogiad	18
2.3 Käitlusoperatsioonid	19
2.3.1 Hoiustamine	19
2.3.2 Laotamiseks valmistamine hoidlas	19
2.3.3 Vedu ja laadimine	19
2.3.4 Ladustamine põllule	20
2.3.5 Laadimine põllul laoturisse	21
2.3.6 Laotamine ja mulda viimine	21
2.3.7 Väetiselaoturite laotamisühtlikkuse kontroll	25
3. Vedelad mineraalväetised	29
3.1 Ülevaade vedelatest mineraalväetistest	29
3.2 Käitlustehnoloogiad	30
3.3 Vedelväetiste kasutamise eelised ja puudused	31
3.4 Käitlusoperatsioonid	34
3.4.1 Hoiustamine	32
3.4.2 Laotamiseks valmistamine	33
3.4.3 Hoidlast laadimine ja vedu	33
3.4.4 Ladustamine põllule	34
3.4.5 Laotamine ja muldaviimine	35
3.4.6 Laoturite puhastamine	39
3.5 Ammoniaagiga väetamine	39
3.5.1 Ülevaade ammoniaagi omadustest	39
3.5.2 Kasutamise eelised ja puudused	40
3.5.3 Agronoomilised tahud	40
3.5.4 Ammoniaagi käitlustehnoloogia	41

3.5.5	Ammoniaagi transport	41
3.5.6	Ammoniaagi mulda viimine	42
3.5.7	Ammoniaagiväeturi väetusnormi ja -ühtlikkuse seadmine	44
3.5.8	Ammoniaagiveega väetamine	44
4.	Tahedad orgaanilised väetised	45
4.1	Ülevaade tahedatest orgaanilistest väetistest	45
4.2	Käitlustehnoloogiad	47
4.3	Käitlusoperatsioonid	48
4.3.1	Hoiustamine	48
4.3.2	Laadimine	48
4.3.3	Vedamine hoidlast põllule	49
4.3.4	Vaheladustamine põllul	50
4.3.5	Laotamine ja mulda viimine	50
5.	Vedelad orgaanilised väetised	57
5.1	Ülevaade vedelatest orgaanilistest väetistest	57
5.2	Väetiste omadused	57
5.3	Käitlustehnoloogiad	59
5.4	Tehnoloogia valikut mõjutavad tegurid	60
5.5	Käitlusoperatsioonid	61
5.5.1	Hoiustamine	61
5.5.2	Ümbertöötlemine	64
5.5.3	Laotamiseks valmendamise hoidlas	67
5.5.4	Hoidlast laadimine	67
5.5.5	Vedamine hoidlast põllule	68
5.5.6	Ladustamine põllule	68
5.5.7	Laadimine põllul laoturisse	69
5.5.8	Laotamine ja mulda viimine	69
6.	Poolvedel sõnnik	83
6.1	Poolvedela sõnniku omadused	83
6.2	Käitlustehnoloogiad	83
6.3	Käitlusoperatsioonid	83
6.3.1	Hoiustamine	83
6.3.2	Laotuseks valmendamise	84
6.3.3	Hoidlast laadimine	84
6.3.4	Laotamine ja mulda viimine	85
7.	Lubiväetised	87
7.1	Ülevaade lubiväetistest	87
7.2	Lubiväetiste laotamise agrotehnilised tahud	88
7.3	Lubiväetiste käitlustehnoloogiad	89
7.4	Käitlusoperatsioonid	89

7.4.1	Nõuded lubiväetiste käitlemisele	89
7.4.2	Laotamiseks valmendamise	90
7.4.3	Vedamine hoidlast põllule	90
7.4.4	Vaheladustamine põllule	90
7.4.5	Laadimine laoturile	91
7.4.6	Laotamine ja mulda viimine	91
8.	Haljasväetised	94
8.1	Ülevaade haljasväetistest	94
8.2	Käitlustehnoloogiad	94
8.3	Agrotehnilised tahud	97
9.	Bakterväetised	98
9.1	Ülevaade bakterväetistest	98
9.2	Käitlusoperatsioonid	99
9.2.1	Hoiustamine	99
9.2.2	Inokuleerimine	99
10.	Täppisviljelus väetamistöodel	101
10.1	Täppisviljelusest üldiselt	101
10.2	Täppisviljeluse rakendamise eeldused	102
10.2.1	Ettevõttest tulenevad eeldused	102
10.2.2	Seadmed	102
10.2.3	Rakendused	102
	Kasutatud kirjandus	105

SUMMARY

FERTILISER MANAGEMENT TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

One of the key factors for effective agricultural production is to use energy staked on fertilisers with maximum efficiency. This is particularly important from the point of view of minimising environmental load of fertilisers, which are one of the greatest agricultural pollutants. The efficiency of fertilisers is heavily influenced by the way and the time of management, depending largely on the appropriate selection and adequate usage of technologies and equipment.

Engineers aim to develop suitable devices meeting the needs of farmers. Fertiliser handling machine selection is wide and varied, the majority of them are suitable only under certain circumstances. Selecting the most appropriate solution in terms of agronomic, technical, economic and environmental conditions requires the best knowledge thorough understanding of the company's needs and the limitations associated with the use of machinery on the one hand, and an overview of the technologies available on the market on the other.

This edition focuses on the technologies and machines related to crop and grassland fertilisation. The book is designed to provide farmers, advisers and other stakeholders with an overview of fertiliser management technologies, technical solutions, the results of related researches, and safety and quality requirements. The publication is based on information need of Estonian farmers in the above mentioned subject.

The book describes equipment according to technological manageability of the following fertilisers:

- solid mineral fertilisers,
- liquid mineral fertilisers,
- solid organic fertilisers,
- liquid organic fertilisers,
- semi-solid organic fertilisers,
- lime fertilisers,
- green manures and
- inoculants.

For each type of fertiliser, an overview is provided about the following topics:

- fertilisers and their technological properties,
- handling technologies,
- the factors affecting the choice of technology, and
- handling operations.

Fertiliser handling operations, which are studied depending on the type of fertiliser, include:

- storage in the farm,
- preparations for application,
- loading from storage,
- transport from storage to the field,
- storage in the field,
- loading to the spreader in the field,
- spreading and incorporation.

An overview is provided about each handling operation in the following issues:

- quality, environmental and safety requirements,
- technical solutions to ensure these requirements,
- the factors that affect the selection and implementation of a solution.

Hopefully the book increases the farmers' knowledge base about fertiliser management technologies and machinery, thereby contributing to their competitiveness. The edition helps the farmer to make decisions on the basis of environmentally sound, resource-efficient and sustainable management principles on a more informed level. The time for analysis process before decision -making will shorten and more important factors can be taken into account. It helps to speed up the implementation of advanced fertiliser handling technologies and machinery on the farms. Also the work quality (more uniform fertiliser distribution, reduction of drifts, overlays, skips, etc) and thus reduction of the environmental pollution of fertilisers can be increased.

Preparation and printing of the publication was supported by Rural Development Programme Measure 1.1., managed by Estonian Agricultural Registers and Information Board.

SISSEJUHATUS

Taimekasvatustes on üks võtmetegureid väetistes sisalduva ja sinna panustatud energia efektiivne kasutamine. See on oluline ka väetiste kui suurima põllumajandusest tuleneva reostusallika keskkonnakoormuse vähendamisel.

Väetiste kasutegur sõltub suures osas nende käitluse ajast ja viisist, millele omakorda on oluline mõju tehnoloogiate ja -masinate valikul ning kasutamisel. Väetamistehnoloogiate ja -masinate alal on nii Eestis kui mujal maailmas tehtud palju uuringuid. Katsed näitavad, et kultuuride stabiilselt kõrget saagikust soodustab lõimitud väetamine, st et külvikorras kasutatakse nii mineraal- kui orgaanilisi väetisi.

Lähtuvalt sellest ja mineraalväetiste soetamisraskustest viimastel aastatel, on põllumehed üha enam hakanud tähelepanu pöörama ka kohalike väetusainete (näiteks sõnnik, järvemuda, kompost, reoveesetted, digestaat, tuhk jmt) kasutamisele, neist mitmete käitlemine on aga tehnoloogiliselt ja tehniliselt keerukas ning energiakulukas oma suure mahu, ebastabiilsuse ja keskkonnaohtlikkuse tõttu.

Inseneride eesmärk on välja töötada põllumeeste vajadustele sobivaid masinaid. Väetiste käitlusmasinate valik on lai ja mitmekesine, suur osa neist on kohased ainult teatud tingimustes. Nende seast agronoomiliselt, tehniliselt, majanduslikult ja keskkondlikult sobivaimate valimine eeldab ühelt poolt teadmisi ettevõtte vajadustest ja masinate kasutamiseiga seotud piirangutest ning teisalt ülevaadet turul pakutavatest tehnilistest lahendustest.

Käesoleva väljaande teemaks on põllukultuuride ja rohumaaade väetamisega seotud tehnoloogiad ja masinad. Raamatu eesmärk on anda põllumajandustootjatele, nõustajatele ja teistele huvigruppidele ülevaade väetisekäitluse tehnoloogiatest, tehnilistest lahendustest, nende uurimiste tulemustest ning ohutus- ja kvaliteedinõuetest.

Trükise koostamisel on lähtutud Eesti põllumajandustootjate teabevajadusest eelnimetatud teemal.

Raamatus kirjeldatakse masinaid lähtuvalt järgmistest väetiste tehnoloogilisest käideldavusest:

- tahked mineraalväetised,
- vedelad mineraalväetised,
- tahedad orgaanilised väetised,
- vedelad orgaanilised väetised,
- poolvedelad orgaanilised väetised,
- lubiväetised,
- haljasväetised ning
- bakterväetised.

Iga väetiseliigi all käsitletakse järgmisi teemasid:

- väetised ja nende tehnoloogilised omadused,
- käitlustehnoloogiad,

- tehnoloogia valikut mõjutavad tegurid,
- käitlusoperatsioonid.

Väetiste käitlusoperatsioonid, mida käsitletakse sõltuvalt väetise liigist, on:

- ettevõttes hoiustamine,
- laotuseks valmistamine hoidlas,
- hoidlast laadimine,
- vedamine hoidlast põllule,
- ladustamine põllul,
- põllul laadimine laoturile ning
- laotamine ja/või mulda viimine.

Iga käitlusoperatsiooni käsitlemisel antakse ülevaade

- kvaliteedi-, keskkonnakaitse- ja ohutusnõuetest,
- tehnilistest lahendustest nõuete tagamiseks,
- teguritest, mis mõjutavad lahendusviisi valikut ja rakendamist.

Antud trükisesse koondatud teave on abiks riikliku programmi „Põllumajanduslikud rakendusuuringud ja arendustegevus aastatel 2009–2014” eesmärkide täitmisel ja oodatavate tulemuste saamisel. Eelnimetatud programmi põhieesmärgina on muuseas esile toodud, et: „Programmi täitmine peab aitama intensiivsemalt varustada põllumajandustootjaid uute Eesti oludesse sobilike keskkonnasõbralike tehnoloogiate, tootmisvõtete ja muu turukonkurentsis püsimiseks vajaliku teabega”.

Selle programmi raames said muuhulgas teoks Põllumajandusministeeriumi poolt finantseeritud rakendusuuringud „Mullaharimise intensiivsuse mõju vedelsõnnikuga väetatud põllukultuuride saagile ja kvaliteedile ning mulla seisundile” (projekti juht Peeter Viil) ja „Põllukultuuride ja rohumaaade tasuvuse suurendamise meetmed“ (projekti juht Valdek Loko), nende uuringute tulemusi on kajastatud ka antud raamatus.

Käesolevaga suureneb loodetavasti tootjate teadmusbaas konkurentsivõimet soodustavatest väetisekäitlustehnoloogiatest ja -masinatest. Koostatud väljaanne aitab põllumehel senisest paremini oma otsustustes lähtuda keskkonnaohutu, ressursisäästliku ja jätkusuutliku majandamise põhimõtetest. Lüheneb otsusele eelneva analüüsiprotsessi aeg ja arvesse saab võetud enam olulisi tegureid. See aitab kiirendada nüüdisaegsete väetisekäitlustehnoloogiate ja -masinate rakendamist ettevõtetes. Samuti tõsta tööde kvaliteeti (parem väetiste laotusühtlikkus, triivi, ülekate ja vahelejätude vähenemine jne) ning sellega vähendada keskkonna saastamist väetistega.

Väljaandes käsitletakse 2013. aastal rakenduses olevaid tehnilisi lahendusi. Trükise kasutajal palume silmas pidada,

et selles esitatud teave võib kasutusmomendiks olla vananenud ja seetõttu on enne otsustamist soovitatav konsulteerida eriala asjatundjatega ning tutvuda seadusandlusega.

Eraldi tahan ära märkida käesoleva raamatu koostamisel suureks toeks olnud rea kodumaiseid kirjandusallikaid, mille autorite tänuväärse tööta oleks käesoleva teose kirjutamine vaevalisem ja sisu kasinam olnud. Nimetan tähetiku järjekorras neist olulisemad, samas soovitan neid ka täiendavaks lugemiseks:

Haljasväetiskultuurid lämmastikuallikana ja lämmastiku kaod. Hannolainen, E. Infoliht Nr. 173. EMVI Agroökoloogia osakond, 2005. 13 lk.

Haljasväetiste kasutamine parandab mulla omadusi. Lauringson, E. ja Talgre, L. Maamajandus, 2010. juuni, lk 21-23.

Hea Põllumajandustava. Koostajad Rooma, L., Penu, P., Metsur, M. ja Valdmaa, T. EV Põllumajandusministeerium, 2007. 100 lk.

Muldade lupjamine. Järvan, M., Järvan, U. Eesti Maaviljeluse instituut, 2010. 116 lk.

Saastuse kompleksne vältimine ja kontroll. Parim võimalik tehnika veiste intensiivkasvatuses. Koostaja Kaasik, A. Eesti Maauilikool, 2007. 86 lk.

Sõnniku keskkonda säästev hoidmine ja käitlemine. AS Maves, Tallinn, 2005. 48 lk.

Sõnnikuhoidlate ehitamine. Leola, A., Leola, T., Luts, V. Koostaja Luts, V. Jäneda, 2007. 65 lk

Taimede toitumise ja väetamise käsiraamat. Koostaja Kärblane, H. Tallinn, 1996. 285 lk

Väljaande koostamist ja trükkimist toetas PRIA MAK meetmest 1.1.

Kalvi Tamm
koostaja

1. VÄETAMISTEHNOLLOOGIA ALUSED

1.1 VÄETISTE LIIGID

Väetiseseaduse (2011) kohaselt on väetis aine või valmistis, mille kasutamise eesmärk on taimede varustamine toitainetega. Sama seaduse kohaselt on väetis ka:

- lubiväetis, mille kasutamise eesmärk on mulla happesuse vähendamine;
- orgaaniline väetis, mis vastab väetistele kehtestatud nõuetele; see on valdavalt taimse või loomse päritoluga orgaanilisest ainest koosnev väetis (näiteks sõnnik, virts, silomahl, kompost, reoveesete jmt);
- looduslik väetis, mis vastab väetistele kehtestatud nõuetele; looduslik väetis on looduslikust leiukohast kaevandatud ja väetamiseks kasutatav kivim, mineraal või muu maa-aines;
- bakterväetis, aine, mis sisaldab kindlale taimeliigile sobivaid mikroorganisme-bakterikultuure, mis parandavad seda liiki taimede toitumistingimusi.

Mineraalväetised

Mineraalväetised on väetised, milles üks või mitu mineraalset või sünteetilist päritolu taimetoitelementi (lämmastik, fosfor, kaalium, kaltsium, magneesium jt) on anorgaaniliselt seotud.

Neist eristatakse orgaanilisi väetisi, milles sisalduvad taimetoitelemendid on orgaaniliselt seotud. Mineraalväetised jagunevad **tahketeks** (ptk 2) ja **vedelateks** (ptk 3).

Mineraalväetised jaotatakse taimetoitelementide sisaldusest olenevalt lihtväetisteks (sisaldavad vaid üht taime põhitoitelementi) ja kompleksväetisteks, mis sisaldavad vähemalt kahte põhitoitelementi.

Lihtväetised jaotatakse taimetoitelemendi sisalduse järgi lämmastik-, fosfor-, kaalium, boor-, vask- jne väetisteks. Kolme põhitoitelemendiga (N, P, K) kompleksväetisi nimetatakse sageli ka täisväetisteks.

Kompleksväetised jaotatakse omakorda liit- ja kombineeritud väetisteks ning väetissegudeks. Liitväetisteks nimetatakse väetistena kasutatavaid keemilisi ühendeid, mille molekuli koosseisu kuulub mitu taimetoitelementi (näiteks kaaliumnitraat). Kombineeritud väetised on aga mitme keemilise ühendi segud, mis on saadud ühtses tootmisprotsessis (näiteks nitrofoska). Väetissegud saadakse erinevate toitelementide sisaldavate lihtväetiste kokkusegamise teel.

Kui varasematel aastatel kasutati väetamiseks põhiliselt lihtväetisi (ammooniumnitraat, superfosfaat, kaaliumkloriid), siis koos uute masinatehnoloogiate arenemisega on üha laialdasemalt hakatud kasutama kompleksväetisi. Kompleksväetised võimaldavad täpsemat väetamist, kulutuste vähendamist väetiste külvil ja transpordil jne. (EMVI, 2004).

Orgaanilised väetised

Orgaaniline väetis põhineb süsinikul. Peamised toiteained on süsinikühendid ja muutuvad taimedele kättesaadavaks lagunemisprotsessi käigus. Mõju on pikaajaline ja seetõttu on orgaanilised väetised head mullaparandajad. Sageli need laotatakse põldude puhkeperioodi eel. Orgaanilised väetised on vedelsõnnik, virts, tahesõnnik, komposteeritud taimejäänused, reovete setted, verejahu, kalajahu, kondijahu, sarvelaastud, karbamiid e kusihape jpt.

Sõnnik on looma organismist väljutatud uriini ja rooja ning sellele laudas lisandunud söödaääride ja allapanu segu. Sõltuvalt pidamistehnoloogiast ja kasutatava allapanu kogusest saadakse tahe-, poolvedel- või vedelsõnnik (PVT, 2007).

Sõnniku koostise nõuete (2011) kohaselt on sõnnik kompostitud või muul viisil stabiliseeritud loomade väljaheidet, millele võib olla lisatud allapanu. Sõnnik ei või sisaldada haigusi tekitavaid mikroorganisme. Toiteelementide N P ja K miinimumsisaldus kuivaines on 2%.

Sõnnikut liigitatakse kuivaine sisalduse järgi:

- allapanuga e tahesõnnik, milles on kuivainet vähemalt 20%;
- allapanuta ehk poolvedel sõnnik, milles on kuivainet $\geq 8-19,9\%$;
- vedelsõnnik ehk veega eemaldatud sõnnik, milles on kuivainet $\geq 5-7,9\%$.

Ülevaade Eestis toodetava sõnniku kuivaine ja toitelementide sisaldusest on esitatud tabelites 1.1 ja 1.2.

Tabel 1.1. Kuivaine, NPK ja ammooniumlämmastiku sisaldused Põllumajandusuuringute Keskuses aastatel 2009–2011 analüüsitud sõnnikuproovides

Sõnniku liik	KA %	N kg/t	NH ₄ ⁺ kg/t	P kg/t	K kg/t
Veise virts	3	1,5	0,8	0,2	1,2
Veise vedelsõnnik	6,5	2,7	1,3	0,5	1,8
Veise poolvedel sõnnik	15,3	4,1	0,9	0,9	2,9
Veise tahesõnnik	25,2	5,4	0,6	1,2	4,1
Sea virts	3,3	3,4	2,5	0,6	1,3
Sea vedelsõnnik	6,1	4,1	2,6	1	1,4
Sea poolvedel sõnnik	13,9	6,1	2,7	2,3	2,4
Sea tahesõnnik	26,1	7,8	1,8	2,9	4
Kana poolvedel sõnnik	13,8	9,1	3,8	3,5	4,6
Kana tahesõnnik	49	19,4	4,3	6,9	8,1
Lamba tahesõnnik	34,1	7,7	0,6	1,9	7,7

Eesti keskkonnamoosloa kohuslaste nimekirjas olevate sea- ja veisekasvatusega tegelevates ettevõtetes käideldi 2009. aastal kokku ca 1,5 milj tonni vedelsõnnikut ja ca 0,7 milj tonni tahesõnnikut. Protsentuaalselt väljendades moodustas käideldavast sõnnikust 68% vedel- ja 32% tahe-

sõnnik. Seasõnnik moodustas kogu käideldavast sõnnikust 23%. Vedelsõnniku kogus oli suurim Lääne-Virumaal, väikseim Ida-Virumaal ja puudus Hiiumaal. Tahesõnnikut oli kõige rohkem Järvamaal ja kõige vähem Hiiumaal. (Tamm ja Vettik, 2011).

Tabel 1.2. Ca, Mg ja mikroelementide sisaldused Põllumajandusuuringu Keskuses aastatel 2009–2011 analüüsitud sõnnikuproovides

Sõnniku liik	Ca kg/t	Mg kg/t	Cu g/t	Mn g/t	B g/t
Veise virts	0,5	0,2	5,2	8,2	1,2
Veise vedelsõnnik	1	0,4	4,2	6,6	2,8
Veise poolvedel sõnnik	1,6	0,6	3,9	15,5	3,8
Veise tahesõnnik	1,4	0,8	3,8	19	4,7
Sea virts	0,7	0,3	7,9	8,6	1,5
Sea vedelsõnnik	1,4	0,5	20,5	11,8	2,1
Sea poolvedel sõnnik	0,6	0,4	3,3	8,9	6
Sea tahesõnnik	3,1	0,6	16,9	36,5	8,4

Tahedad orgaanilised väetised on orgaanilised väetised mille kuivainesisaldus on üle 20%. Nad on virnastatavad ja nad ei voola raskusjõu toimel (Pain ja Menzi, 2003). Tahedate orgaaniliste väetiste hulka kuuluvad tahesõnnik, mitmesugused kompostid ja mudad (vt ka jaotis 4.1).

Vedelad orgaanilised väetised on orgaanilised väetised mille kuivainesisaldus on alla 8%. Nad on kergesti pumbatavad ja voolavad raskusjõu toimel, kuid ei ole virnastatavad (Pain ja Menzi, 2003). Nende hulka kuuluvad näiteks vedelsõnnik, virts, digestaat, silomahl ja reovesi. (vt ka jaotis 5.1).

Poolvedelad orgaanilised väetised on orgaanilised väetised kuivainesisaldusega vahemikus 8–20%. Nad ei ole virnastatavad ega kergesti pumbatavad (Pain ja Menzi, 2003). Siia hulka kuuluvad allapanuta ehk poolvedel sõnnik ja erinevad mudad (vt ka jaotis 6.1).

Lubiväetised on karbonaatsete kivimite jahu, pudedad mageveelubisetted (allikalubi, järvelubi) ja leeliselised tööstusjäätmed, mida kasutatakse muldade lupjamiseks. Happelistes muldades on mitme toitelemendi liikuvus ja omastatavus väike ning taimed kannatavad nende puuduse all. Sellistel muldadel on viljakuse taastamise esmaseks abinõuks keemiline melioratsioon ehk lupjamine (Järvan ja Järvan, 2010) (vt ka jaotis 7.1).

Haljasväetised on põllukultuuride haljasmassid, mis mullaviljakuse tõstmiseks kas kasvukohal või teiselt kasvukohalt tooduna mulda viiakse (TTVK, 1996). Põhilisteks haljasväetisteks on mitmesugused liblikõielised kultuurid, aga kasutatakse ka kõrrelisi, ristõielisi jt kultuure.

Bakterväetised on Väetiseseaduse (2011) tähenduses ained, mis sisaldavad kindlale taimeliigile sobivaid mikroorganisme-bakterkultuure, mis parandavad seda liiki taimede toitumistingimusi (vt ka jaotis 9.1). Bakterväetiste hulka kuuluvad mügarbakteriinid, asotobakteriinid ja fos-

forbakteriinid (TTVK, 1996).

Bakterväetised on nn kaudsed väetised, s.t parandavad taimede kasvukeskkonda, aga ei sisalda otseselt taimetoitelemente. Bakterväetisi viiakse mulda kas iseseisvalt või seemnele kantuna enne külvi.

Gaasväetised on väetised, mida annustatakse taimedele gaasina. Gaasväetisena kasutatakse süsihappegaasi (CO₂) peamiselt kasvuhoonetes aga ka akvaariumites ja aiatiikides. Taimed vajavad CO₂-te fotosünteesiks. Kui kasvuhoo-nes puudub piisav värske õhuga varustatus, mida kipub eriti talvel juhtuma, siis tekib taimedel CO₂-puudus. Süsihappegaasi annustatakse ka puhta gaasina (mis on küllaltki kallis), või siis propaani või maagaasi põlemisjäätmena (ühendatud on kütmine ja väetamine). Väetamise efektiivsus sõltub taimede CO₂-puudusest ja valgustustingimustest (Dürholdt, 2012). Kuna gaasväetisi kasutatakse ainult katmikaladel, mis jäävad käesolevas raamatu teemast välja, siis neid väetisi pikemalt ei käsitleta.

1.2 ÜLDISED NÕUDED VÄETISE-KÄITLUSELE

Väetiste puhul on tegemist valdkonnaga, kus tuleb järgida spetsiifilisi nõudeid ja norme. Väetiste registreerimist reguleerivate sätetega tagatakse kaitsetase, millega välditakse eelkõige selliste väetiste turule jõudmist, mis võivad kujutada ohtu inimese ja looma tervisele ning keskkonnale.

Põllumajandusega tegelevatel isikutel on soovitatav järgida head põllumajandustava. Hea põllumajandustava on üldtunnustatud tootmisvõtted ja -viisid, mille järgimise korral ei teki ohtu keskkonnale (Veeseadus, 2011). Põhjalik ülevaade hea põllumajandustavaga seotud nõuetest on esitatud Eesti Põllumajandusministeeriumi kodulehel avaldatud „Hea põllumajandustava” väetamistehnoloogiat puudutavas osas (Hea Põllumajandustava, 2007).

Ettevõtetel, kellel on kohustuslik omada keskkonnamojuhindamiskava, tuleb kohustuslikus korras rakendada parimat võimalikku tehnikat (PVT, 2007).

PVT peab vastama tegevusala ja selles rakendatavate töömeetodite tõhusaimale ja arenenumale astmele.

PVT mõistes tähendab:

parim – tõhusaimat kogu keskkonna kaitsmiseks; võimalik tehnika – käitajale mõistlikul viisil kättesaadavat nüüdisaegset tehnikat, mille kasutamine on kulusid ja eeliseid arvesse võttes majanduslikult ja tehniliselt vastuvõetav ning tagab keskkonnanõuete parima täitmise.

PVT väetiste kasutamisel lähtub toiteelementide sisalduse laboratoorsest määramisest nii sõnnikus kui mullas. PVT on väetiste tasakaalustatud andmine kõlvikutele vastavalt mullastiku ja taimede vajadustele ning keskkonnasäästliku tehnika kasutamine väetiste laotamisel. Vältimaks

pinna- ja põhjavee saastumist sõnniku toiteelementidega ei tohi sõnnikut laotada liigniisketele, üleujutatud, külmunud ja lumega kaetud pindadele, samuti veekogude kallastele.

Põllumajandustootja peab olema teadlik, kus tema poolt kasutatavatel maadel asuvad kaitsmata põhjaveega alad, kars-tilehtrid, allikad, veehaarded ja pinnaveekogud ning milliseid veekaitse-õudeid tuleb neil aladel või nende ümbruses täita. Vajadusel saab konsulteerida keskkonnateenistusega.

Elurajoonide läheduses (lõhnasaaste) on PVT sõnniku laotamise vältimine nädalavahetustel ning pühade ajal, samuti tuule suuna arvestamine.

PVT sõnniku laotamisel põllu ja rohumaadele on sises-tus- ja segamislaotamine, samuti lohis- ja vooliklaotamine. PVT sõnniku laotamisel põllumaadele on ka paisklaotamine kui muldaviimine toimub 4–6 tunni jooksul. Paisklaotamine sõnniku laotamisel rohu- ning karjamaadele ei ole PVT. Mitmete sõnniku laotamistehnoloogiate juures on määravaks teguriks toitainete, eriti ammoniaagi, kadudele sõnniku kiire muldaviimine laotamisjärgselt. Sagedasti nõuab see aga lisainvesteeringut (traktor, kultivaator vms) ja energiakulu. Rohu- ja karjamaade puhul ei ole sõnniku muldaviimine mitmete laotamise meetodite korral üldse võimalik (PVT, 2007).

Põhjalik ülevaade PVT-st väetiste kasutamisel on esitatud IPPC kodulehel „PVT, 2007. Saastuse kompleksne vältimine ja kontroll. Parim võimalik tehnika veiste intensiivkasvatases.”

Väetise hoidmise nõuded (Väetiseseadus, 2011):

- väetist peab hoidma tingimustes, mis tagavad väetise ohutuse inimese ja looma elule ja tervisele;
- väetist hoitakse veeseaduses põhja- ja pinnavee kaitseks kehtestatud nõuete kohaselt.

Mineraalväetiste käitlemise nõuded

Mineraalväetiste vedu

Mineraalväetiste veol peab vedaja hoidma ära väetiste keskkonda sattumise. Pakendamata mineraalväetiste veol peavad väetised olema kaitstud sademete ja tuule eest (Veekaitse-õuded..., 2011).

Mineraalväetistega väetamine

Mineraalväetistega antavate taimetoiteelementide kogused ei tohi ületada koguseid, mis on vajalikud mullas sisalduvate toitainete tasakaalu säilimiseks, arvestades väetatavate taimede toitainete vajadusi, saagikusi, külvikordi, mulla omadusi ja muid väetamisel tähtsust omavaid tegureid. Mineraalväetistega võib aastas haritava maa hektari kohta anda lämmastikku mitte rohkem kui määruse lisas sätestatud koguses, sõltuvalt kasvatatavast kultuurist ja planeeritavast saagist. Mineraalväetisi ei tohi laotada lumele ja külmunud maale. Mineraalväetisi ei tohi laotada lennukilt (Veekaitse-õuded..., 2011).

Nitraaditundlikul alal tohib lubatud lämmastiku üldkogu-

sest anda mineraalväetistega haritava maa ühe hektari kohta keskmisena mitte üle 140 kg aastas. Kaitsmata põhjaveega aladel pinnakatte paksusega kuni 2 m ja karstialadel võib kaitse-eeskirja alusel piirata seda kogust 100 kg-ni. Mineraalväetistiku kogused, mis on suuremad kui 100 kg/ha, tuleb anda jaotatult.

Pandivere ja Adavere-Põltsamaa nitraaditundliku ala kaitse-eeskiri (Pandivere..., 2011) sätestab, et kaitsmata põhjaveega aladel ei tohi mineraalväetistega antav lämmastikukogus olla aastas üle 120 kg/ha ning taliviljadele ja mitmeniitelistele rohumaadele korraga antav lämmastikukogus olla aastas üle 80 kg/ha. Kaitsmata põhjaveega alade piirid on toodud Pandivere ja Adavere-Põltsamaa nitraaditundliku ala digitaalkaartil.

Sõnniku käitlemise nõuded

Sõnniku ja virtsa hoidmise nõuded

Kõikidel loomapidamishoonetel, kus peetakse üle 10 loomühiku loomi, peab olema lähtuvalt sõnnikuliigist sõnniku-hoidla või sõnniku- ja virtsahoidla. See peab mahutama loomade vähemalt kaheksa kuu sõnniku ja virtsa. Sõnnikuga kokkupuutuvad konstruktsioonid peavad vastama sõnniku-hoidlatele esitatavatele nõuetele.

Kui loomapidaja viib sõnniku lepingu alusel hoidmisele või töötlemisele teise isiku hoidlasse või töötlemiskohta, peab loomapidamishoone kasutamisel olema tagatud lekkekindla hoidla olemasolu, mis mahutab vähemalt ühe kuu sõnnikukoguse.

Veekaitseõuded sõnniku- ja virtsahoidlatele

Sõnnikuhoidla ja -rennid peavad olema ehitatud nii, et sademed ja pinna- ning põhjavesi ei valguks sõnnikuhoidlasse.

Vedelsõnniku- ja virtsahoidla peab ammoniaagi lendumise vähendamiseks olema kaetud.

Sõnnikuhoidla ja -rennid peavad olema lekkekindlad. Ehitamisel peab kasutama materjale, mis tagavad lekkekindluse hoidla ekspluatatsioonaja vältel.

Sõnnikuhoidla valdaja peab võtma kasutusele abinõud tagamaks, et kõrvalised isikud või loomad ei pääseks hoidlasse.

Veekaitsevööndis on keelatud väetise kasutamine ning sõnnikuhoidla või -auna paigaldamine (Poolloodusliku koosluse ..., 2010).

Veekaitsevööndi ulatus tavalisest veepiirist on:

- Läänemerel, Peipsi, Lämmi- ja Pihkva järvel ning Võrtsjärvel – 20 m;
- teistel järvedel, veehoidlatel, jõgedel, ojadel, allikatel, peakraavidel ja kanalitel ning maaparandussüsteemide eesvooludel – 10 m;
- maaparandussüsteemide eesvooludel valgalaga alla 10 km² – 1 m.

Sõnnikuveol peab vedaja ära hoidma sõnniku keskkonda sattumise.

Sõnnikuga väetamine. Sõnnikuga on lubatud anda haritava- le maal kuni 170 kg/ha lämmastikku ja 25 kg/ha fosforit aas- tas, kaasa arvatud karjatamisel loomade poolt maale jäetavas sõnnikus sisalduv lämmastik ja fosfor (Veeseadus, 2011).

Nitraaditundlikul alal on sõnniku- ja mineraalväetistega kokku lubatud anda haritava maa ühe hektari kohta kesk- misena kuni 170 kg lämmastikku aastas.

Nõuded põllule

Väetiste laotamine pinnale on keelatud haritavaal maal, mil- le maapinna kalle on üle 10 protsendi. Kui maapinna kalle on 5–10 protsenti, on pinnale väetiste laotamine keelatud 1. novembrist kuni 15. aprillini (Veeseadus, 2011).

Orgaanilisi ja mineraalväetisi ei tohi laotada 1. detsemb- rist kuni 31. märtsini ja muul ajal, kui maapind on kaetud lumega, külmunud või perioodiliselt üleujutatud, või veega küllastunud maale. Maapind loetakse lumega kaetuks, kui see on rohkem kui 10 cm lumega kaetud kauem kui 24 h. Külmunud maa on maa, mis on külmunud rohkem kui 5 cm sügavuselt kauem kui 24 h (Veeseadus, 2011).

Kasvavate kultuurideta põllul tuleb sõnnik pärast laota- mist mulda viia 48 h jooksul.

Allikate ja karstilehtrite ümbruses on 10 m ulatuses veepiirist või karstilehtrite servast väetiste kasutamine kee- latud. Nitraaditundlikul alal on see ulatus kuni 50 m, kui kaitse-eeskiri teisiti ei sätesta.

1.3 VÄETISTE KÄITLEMISE TEHNOLOOGILISED ETAPID

Enamiku väetiseliikide käitlemise tehnoloogia põhietappi- deks on väetiste:

- 1) hoiustamine ettevõtte hoidlas;
- 2) valmendamine laotamiseks;
- 3) laadimine hoidlast laoturisse;
- 4) vedu hoidlast põllule;
- 5) laotamine põllule.

Väetiste agressiivsuse või paakumise tõttu on oluline ka seadmete puhastamine pärast nende kasutamist.

Sõltuvalt väetiseliigist ja ettevõtte tootmistingimustest võib nende operatsioonide arv ja loend olla oluliselt erinev. Näiteks haljasväetisi enamasti kasvatatakse väetataval põl- lul ja seetõttu üldiselt ei hoiustata. Mõningaid väetisi nagu mineraal- ja orgaanilisi väetisi on otstarbekas vedada eraldi veokitega kaugematele põldudele ja seal vaheladustada. Sa- mas näiteks bakterväetiste hektarikogused on aga nii väike- sed, et selleks puudub vajadus.

Tulenevalt sellisest vajaduste mitmekesisusest on iga väetiseliigi käitlemise tehnoloogilistest etappidest esitatud eraldi ülevaade seda liiki käsitlevas peatükis.

1.4 VÄETISTE LAOTAMISE AJAD JA VIISID

Taimede toitainete vajadus sõltub kasvufaasist ja omastata- vate toitainete hulk mullas oneline muuhulgas väetiste oma- dustest. Seetõttu eristatakse taimede külvieelset, -aegset ja -järgset väetamist. Väetamisviisideks on laus-, reas-, ribas- või pesitiväetamine. Külvieelne väetamine on põhiline, siis antakse enamuse orgaanilistest ja 2/3 mineraalväetistest ning peamiseks väetamisviisiks on lausväetamine.

Külviaegsel väetamisel väetatakse seemnerida või -pesa. Sel juhul on tegemist paikväetamisega, milleks kasutatakse väeturkylvikuid, kartuli väeturpanureid ja taimede väetu- ristuteid. Külviaegse väetamise üheks võtteks on ka külvisse töötlemine (pritsimine või puuderdamine) mikroväetistega.

Kasvuaegse väetamise viis sõltub kultuurist. Rohumaa- de, õlikultuuride ja teraviljade puhul kasutatakse tavaliselt lausväetamist, rühvelkultuuridel reasväetamist. Mikroväeti- si pritsitakse ka segus koos taimekaitsevahenditega.

Väetiste andmisviisidena eristatakse veel iga-aastast ja pe- rioodilist väetamist. Perioodiliselt ehk mitme aasta tagant an- takse tavaliselt lubi- ja orgaanilisi väetisi. Katsed näitavad, et ka P- ja K-väetisi võib teatud tingimustel anda perioodiliselt .

Väetiste andmise aja ja viisi valik sõltub väetiste füüsi- kalis-keemilistest omadustest, väetatava kultuuri bioloogi- listest iseärasustest, põllu agrokliimatilistest tingimustest ja väetiselaotamise tehnikast (TTVK, 1996).

1.5 TEHNOLOOGIATE VALIK

1.5.1 VALIKU ALUSED

Väetamisstrateegia valikul lähtutakse majanduslikust opti- mumist. Väetamine on majanduslikult optimaalne siis, kui väetamisest tuleneva enamtulu ja väetamiskulude vahe on maksimaalne. Seega on väetamistehnoloogia valikul oluline, et vajalik kogus toitaineid jõuaks taimeni võimalikult vähes- te kuludega ehk siis tehnoloogia valikukriteeriumiks on väe- tiste toiteelemendi taimele omastatava osa minimaalne hind.

Taimele omastatav on toiteelemendi see osa, mis on:

- kultuurtaimele sobivas asukohas, et taim seda saaks omastada, olgu siis juurtega või juureväliselt ja
- sellises vormis, et taim saab seda omastada.

Toiteelemendi sobiva asukoha tagamiseks tuleb väetis toimetada taime peale (juurevälisel väetamisel) või juurte lähedusse. Arvestama peab ka toitainete eemaldumisega kultuurtaimest kas lendumise, leostumise, umbrohtude või mõne muu põhjuse tõttu.

Väetamiskulu moodustavad väetiste soetamiseks tehtud kulude ja hoidlast mulda või taimele viimise kulude summa.

Väetamistehnoloogia valik sõltub sellest, millised tai- metoiteainete allikad on ettevõttes olemas. Lisaks toitainete

sisaldusele on erinevat liiki väetistel ka muid omadusi, mida tuleks arvestada. Mineraalväetised mulla füüsikalist seisundit oluliselt ei mõjuta, need mõjutavad peamiselt mulla keemilisi omadusi ja seeläbi ka mõningal määral mikrobioloogilist seisundit. Samas - orgaanilised väetised mõjutavad olulisel määral ka mulla füüsikalisi omadusi ja mullaelustikku.

Loomakasvatuse jääkprodukt on sõnnik, selle hoiustamiskulud arvatakse enamasti loomakasvatuskulude alla. Sel juhul on sõnniku hind hoidlas null, samas on sellel väärtnus nii energiatoorme kui väetisena. Paraku on orgaaniliste väetiste tootelementide kontsentratsioon enamasti madalam kui mineraalväetistel ja seetõttu on neil elemendi ühiku kohta suured käitlemiskulud – nii teisaldamisel kui laotamisel. Laotamisel kavandamisel tuleb arvestada, et sõnniku kogus ühe hektari kohta on seadusandlusega ja agronoomiliste teguritega piiratud.

Ettevõttele, kes tegelevad ainult taimekasvatusega, on mõnel juhul sõnnikut võimalik saada või osta loomkasvatajailt, igal juhul tuleb arvestada märkimisväärsete transpordi- ja laotamiskuludega. Pealegi on viimastel aastatel pigem sõnniku kui väetise puudujääk, mitte ülejääk. Alternatiivseks võimaluseks põldude huumusebilansi parandamiseks on haljasväetiste kasvatamine. Liblikõielised haljasväetised aitavad lämmastikuga mulda rikastada. Teised haljasväetiskultuurid on abiks toitainete transportimisel sügavamatest mullakihtidest ülemistesse. Haljasväetiste tootmisel tuleb väetiste hinnaks arvestada selle haljaväetiskultuuri rajamise ja selle väetiseks ümbertöötlemise seotud kulusid.

Tehnoloogia valikut mõjutab orgaaniliste väetiste liik: kas tahe-, poolvedel- või vedelsõnnik. Poolvedela sõnniku tootmist tuleks vältida, kuna selle käsitlemine (laadimine, vedu ja laotamine) on raskesti korraldatav (Luts, 2009). Kõige väiksema tööjõuvajadusega on vedelsõnniku käitlemine.

Pealegi on suuremad veise- ja seakasvatustehasfarmid paratamatult üle minemas vedelsõnniku tehnoloogiale, selle põhjuseks võib pidada (Luts, 2009):

- loomapidamise intensiivistumist - mida suurem on lehma aastatoodang, seda rohkem väljahaiteid ta tekitab ja seda väiksem on nende keskmine kuivainesisaldus;
- põllumajandussektori vähenevat tasuvust – sissetulek ühe looma kohta väheneb (varem toitis 10-liikmelise talu ära 2–3 lehma, tänapäeval on piimatootmine majanduslikult küsitav ettevõtte, kus töötaja kohta on 20 lehma);
- oskustööjõu äravoolu põllumajandussektorist – enam ei leita lauta töölisi;
- laotamisestruktuuride maksumust – vedelsõnniku korral piisab ühest laoturist, tahesõnniku korral tuleb paratamatult muretseda nii vedel- kui tahesõnnikulaoturid;
- lühenenud sõnnikulaotamisega – tänapäeval on välistatud sõnniku laotamine lumele; väetamine on lubatud ainult siis, kui taimed on võimelised toitaineid omastama, seega vajatakse kevadel lühiajaliselt suure jõudlusega laotureid.

Väetiste kasutamise otstarbekus sõltub ka transpordikaugusest hoidla ja põllu vahel. Otseveoga tasub sisetuseadmega (näiteks avalõhe-sisetuseadmega, vt jaotis 5.5.8.2) vedelsõnnikut põllule vedada kuni 1,5 km (tahesõnnikut 3 km) kaugusele (joonis 1.1). Kaugemate põldude väetamisel tuleks kasutada etteveotehnoloogiat, kuna siis on laoturiga transportimise kulu kõrgem kui autoga veo ja põllul ümberlaadimise kulu kokku. Lisaks on laotamisperiood lühem, kuna laoturi tööajast kulub väetise veole ja tühisõitule väiksem osa.

Loomakasvatustehasfarmides, kus toodetakse nii tahe- kui vedelsõnnikut, kasutatakse sageli mõlemat tehnoloogiat. Sel juhul tasub hoidlale kõige lähemal asuvatele põldudele laotada tahesõnnikut ja kaugematele vedelsõnnikut etteveoga.

Joonisel 1.1. esitatud tehnoloogiate lühikirjeldused.

Võrdluse aluseks on võetud, et nii vedelsõnnikuga kui mineraalväetistega saaks põllule antud 72 kg/ha lämmastikku. Laotamisnormid olid arvutustes järgmised: mineraalväetis NPK 16-5-13+3,5S 450 kg/ha, 20,2% kuivainesisaldusega veise tahesõnnik 28 t/ha ja 7,1% kuivainesisaldusega veise vedelsõnnik 40 t/ha.

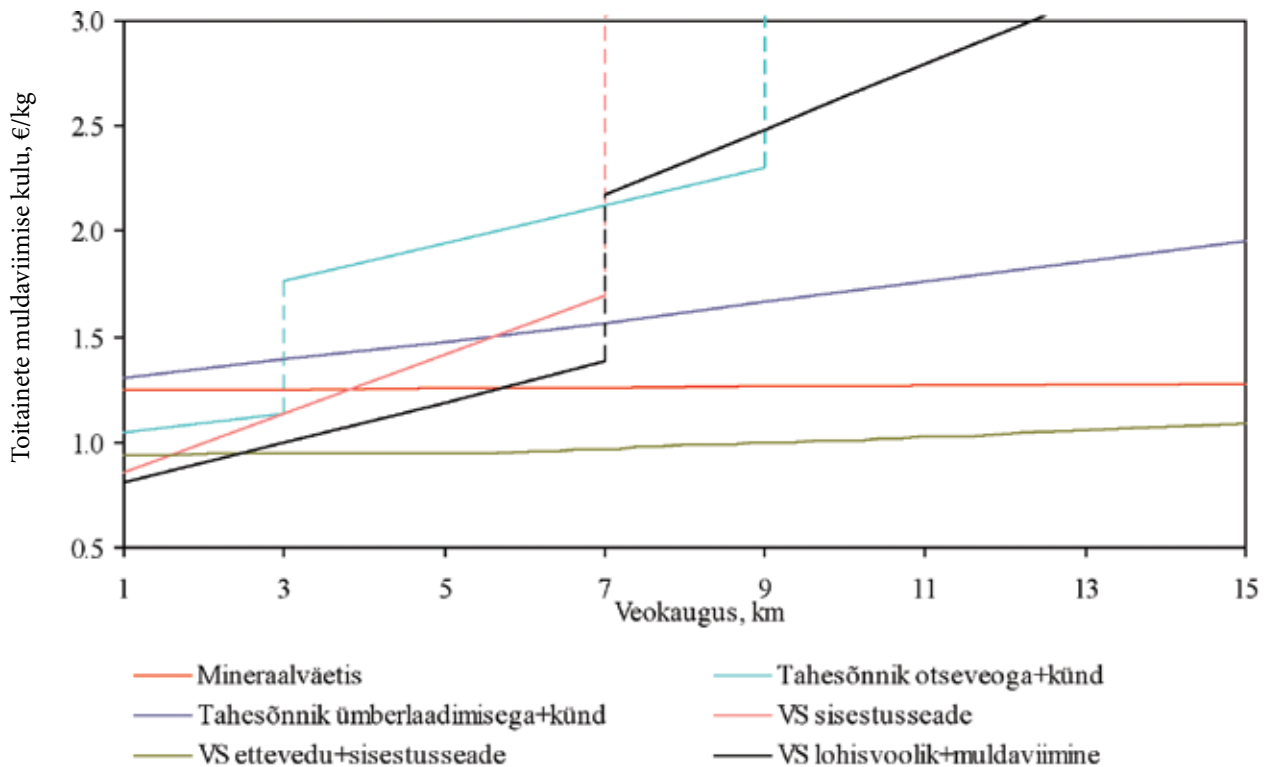
6000 m³ vedelsõnnikut aastas ja laotamisperiood 40 päeva.

3000 t tahesõnnikut aastas ja laotamisperiood 20 päeva.

Vaadeldud väetamistehnoloogiad olid järgmised:

- mineraalväetis laaditakse kopplaaduriga haagisele ja veetakse sellega põllule, laotatakse ketaslaoturiga;
- tahesõnnik, laaditakse kopaga, veetakse ja laotatakse laoturiga ning põld küntakse seejärel;
- tahesõnnik laaditakse kopaga, veetakse põllule traktorihagisega, laotatakse laoturiga ning küntakse mulda;
- vedelsõnnik segatakse, pumbatakse oma ketasseadisega laoturisse ning sellega veetakse põllule ja viiakse mulda;
- vedelsõnnik segatakse, pumbatakse renditud paakautosse, sellega veetakse põllule, sealt laaditakse ümber ketasseadisega laoturisse ning sellega viiakse mulda;
- vedelsõnnik segatakse, pumbatakse oma lohisvooliklioturisse, sellega veetakse põllule ja laotatakse; täiendavaks tööoperatsiooniks on kergrandaaliga vedelsõnniku mulda segamine.

Joonisel 1.1. punktiiriga aste näitab, et sellisel põllu kaugusel lisandub veel üks samasugune laotamisagregaat.



Joonis 1.1. Väetamiskulud toitaineitele erinevate tehnoloogiate korral sõltuvalt põllu keskmisest kaugusest (Vettik, R.)

Isegi kui ettevõttes on oma orgaaniline väetis olemas, siis sageli sellega põllule viidavast toitaine kogusest ei piisa. Ülejäänud osa toitaine vajadusest kaetakse mineraalväetiste abil. Seega juba väetamise kavandamisel määratakse põldude kaupa, kuhu ja kui palju mingit väetist antakse. See, kas kasutada orgaanilisi või mineraalväetisi sõltub :

- kultuurist – orgaanilisi väetisi kasutatakse enamasti taliviljade, õlikultuuride ja rühvelkultuuride väetamiseks, kuna need reageerivad sellele paremini kui suviviljad (TTVK, 1996). Samuti antakse sõnnikut põldheina eelviljale ja rohumadele rajamiseelselt. Arendamisel on tehnoloogiad, mis võimaldavad orgaanilist vedelväetist sisestada ka rohumaa kamarasse (Kanadas on välja töötatud juba üks prototüüp ka tahesõnniku tarvis, vt jaotis 4.3.5.2);
- toitaine tarbest – mineraalväetised võimaldavad katta puudu olevad kogused toiteelementide kaupa. Pealtväetamiseks kasutatakse enamasti mineraalväetisi kuna neil on enamus toitaineid kergesti omastataval kujul. Leheväetistest omastavad taimed kiiresti väikeseid aga vajalikke toitaine koguseid (vt ptk 3);
- masinate soetamis- ja kasutamiskuludest;
- kaugusest hoidla ja põllu vahel – põldudel, mis asuvad hoidlast enam kui 30 km kaugusel on soodsam kasutada mineraalväetisi, kuna orgaaniliste väetiste käitluskulud ületavad mineraalväetiste soetamis- ja käitluskulude summa;
- põldudele pääsemise võimalustest: orgaaniliste väetiste

veo ja laotamise masinad on tavaliselt suuremad ja raskemad kui mineraalväetiste omad. Seetõttu igale põllule ei pruugi suurte ja raskete masinatega peale pääseda;

- väetiste mõjust saagile ning selle kvaliteedile;
- põldude kaugusest lähimate elamuteni: inimesed on tavaliselt häiritud sellest, kui nendeni jõuavad põllumajandustootmisega seotud haisud. Tahkete mineraalväetiste kasutamisel enamasti haisuprobleemi ei ole.

Hais on seotud teatud lõhnaainete ja sh toitaine lendumisega väetistest. Seega, üritades alla suruda toitaine, nt ammoniaaki, lendumiskadu, väheneb tavaliselt ka haisu probleem. Nüüdisajal kasutatakse ammoniaagi lendumise vähendamiseks peamiselt väetiste mulda viimist kas sisestamise, segamise või matmisega (känniga). Sellega on seotud aga täiendavad kulud nii seadmete kui suurema energiatarbe näol.

Laotamistehnoloogia valikul tuleb kalkuleerida, millise variandi korral on tulude - kulude vahe kõige suurem ehk kulud taimetele kättesaadava toitainete ühiku kohta kõige väiksemad. Sobivaima sõnnikukäitlussüsteemi valikul on esimene samm saada ülevaade erinevatest käitlemistehnoloogiatest.

Selgeks tuleks teha järgmised küsimused.

Materjal ja kuivainesisaldus. Milline on materjali läbivool süsteemis? Kui suured on materjali aastakogused? Kuhu materjal läheb ja millisel kujul? Teada peab olema materjali kuivainesisaldus. Selle põhjal määratakse sobivaim käitlemisviis.

Toiteained. Väetise toitaine sisaldus määrab põllule veetavad ja laotatavad kogused.

Patogeenid. Kas töötlemine vähendab patogeenide sisaldust sõnnikus? Kui mistahes materjal laotatakse põllule, peab teadma, kas see mõjutab oluliselt patogeenide vähenemist. Kui materjali müüakse, peab tarbijatele andma sama teavet.

Nõuded valmendamisele. Kas sõnnikut, mida laotatakse, tuleb mingil viisil valmendada.

Lisandid ja rikastajad. Kas on mingeid aineid, mis muudavad sõnniku omadusi nii, et sellega vähenevad sõnniku käitluskulud?

Seadusandlusest tulenevad nõuded. Kui palju, kuhu ja millal on lubatud sõnniku laotada.

Emissioonide ja haisu piiramine. Kas tehnoloogia aitab erinevate ainete (näiteks ammoniaagi või metaani) emissiooni e lendumist ja haisu vähendada?

Käitamine ja tööjõu vajadus. Kui palju tööjõudu on vaja masinate haldamiseks ja hoolduseks? Kui keerulised on seadmed ja protsessid?

Hoiustamine. Kui palju ruumi masinad võtavad ja millised on nõuded nende hoiustamisele.

Kavandamine ja hooldus. Kes kavandab tehnoloogiat ja abistab rakendamisel? Kui kiiresti ja asjatundlikult tehakse masinate remonti ja tehnohoole?

Finantsid. Millised on kulud igale komponendile ja tehnoloogiale üldiselt? Kes maksab selle eest? Kes vastutab käitlus- ja hoolduskulude eest? Milline on seadmete eluiga? Laenuandjad tuleks kaasata kohe valikuprotsessi algusest, et selgitada, millist süsteemi on võimalik finantseerida.

Teiste põllumajandustootjate kogemused. Võimalik, et kõige olulisem on küsimus, kas antud seadmed on mõnes ettevõttes juba kasutusel. Kui vastus on jah, siis tuleks võtta selle ettevõttega ühendust, et saada teada, kas nad on sellega rahul. Kui kaua on seadmed olnud kasutusel? Kui nad saaksid seda teha uuesti, siis mida nad teeksid teisiti ja mida jätaks samaks? Kui ükski ettevõtte ei kasuta sellist seadet, siis peaks ostja olema ettevaatlik.

1.5.2 VAJALIK VÄETAMISTOOTLIKKUS

Tehnoloogia kavandamisel tuleb kindlaks määrata piiritingimused millele see vastama peaks.

Esmalt tuleb leida minimaalne vajalik laotamistootlikkus. Selle määravad ära ajavahemik, mille vältel peab väetis saama laotatud ja väetamispiind.

$$A_{\min} = \frac{F}{DT\tau}$$

kus

A_{\min} – minimaalselt vajalik laotamistootlikkus ha/h;

F – väetatav pindala, ha;

D – ajavahemik, mille vältel peaks väetamine saama tehtud, päeva;

T – väetamise töötundide arv päevas, h/päevas;

τ – hooaja ajakasutustegur. Seda tegurit kasutatakse juhul kui ilmastikutingimused mõjutavad tööaega. Ammoniaaklämmastikku sisaldavate väetiste laotamisel on soovitatav vältida tuulist või kuuma ilma.

Ajavahemik, mille vältel saab väetisi laotada on määratud:

- seadustega lähtuvalt keskkonnanahoiust;
- kultuuride toitaine vajadustega erinevates kasvufaasides, seega kultuuri arengujärgust ja kiirusest põllul;
- kui vara kevadel põllud väetureid kandma hakkavad;
- väetiste toimekiirusest (kas väetisi on võimalik anda varuga ette või mitte);
- teiste põllutööde ajakavast (et näiteks väetamine ei hakkaks külvi segama).

Arvestada tuleb ka ajakadudega tulenevalt meteoroloogilistest, tehnilistest, organisatoorsetest subjektiivsetest jt teguritest. Näiteks kui 10-st tööpäevast eelnimetatud põhjustel ei saa ühel päeval tööd teha, siis on hooaja ajakasutustegur 0,9.

Väetatav pindala. Mida suurem pindala on vaja väetada teatud ajavahemikus, seda suurem peab olem väeturi tootlikkus.

Teiseks tuleb leida minimaalne hektarihind tehnoloogiale, mis suudaks väetist käidelda leitud tootlikkusega A_{\min} . Minimaalse hektarihinna leidmiseks tuleb arvutada hinnad erinevate tehnoloogiate ja masinavariantide korral, mis suudavad eelpool leitud tootlikkust tagada ja seejärel valida nende seast odavaim lahendus. Lisaks tootlikkusele tuleb jälgida et võrreldavad lahendused oleks ka muude parameetrite osas ettevõttele sobivad.

Hektarihinna arvutamisel tuleb arvestada kõikide operatsioonidega seotud kulud kogu käitlemisahela ulatuses alates hoiustamisest kuni laotamiseni. Kui väetis segatakse laotamisjärgselt mullaga, siis tuleb ka seda kulu arvestada. Lisaks väetiste transpordikuludele tuleb arvestada ka põllul töötavate masinate põllule ja tagasi transportimise kulud. Kalkuleerides aga väetiste transpordikulu juhul, kui transport toimub väetiselaoturiga, väetiselaoturi transpordikulu eraldi ei arvestata.

Iga operatsiooni korral leitakse iga masina keskmine tööajakulu ühe hektari kohta ja töötunni hind. Tööajakulu ja töötunni hinna korrutisena saadud hektarihindade summeerimisel leitakse tehnoloogia rakendamise hektarihind kokku.

Tööajakulud on osaliselt arvutatavad või määratavad kronometreerimise teel. Enamasti tuleb need aga otsida erialakirjandusest - KTBL, TTS, ATK, masinamüüjate avaldatud materjalid jmt erialane kirjandus.

1.6 LAOTAMISKVALITEEDIGA SEOTUD TERMINID

Laotamisnorm: põllu pindalaühiku kohta laotatava väetise kogus, kg/m², t/ha.

Tühjendusjõudlus: laoturist ajaühikus väljutatav väetisekogus, kg/s, t/min.

Suurim laotamislaius: maksimaalne kaugus, mõõdetuna risti laotamiseadme sõidusuunaga, millele ühe töökäiguga väetis laotatakse, m.

Tegelik laotamislaius: laotamiseadme sõidusuunaga risti mõõdetud külgnivate töökäikude vahekaugus (näiteks vasemast jäljest järgmise vasema jäljeni), mis on ühtlase laotamisnormi saamiseks vajalik. See on võrdne suurim laotamislaius miinus vajalikud ülekatted, m.

Pikiühtlikkus: laotamisnormi ühetaolisus seadme liikumissuunas. Kui tühjendusjõudlus muutub, siis peab laotamisnormi ühtluse tagamiseks seadme liikumiskiirust muutma.

Põikiühtlikkus: laotamisnormi ühetaolisus määratuna seadme liikumissuunaga risti. Kui laotamisnorm erineb laotamislaiuse äärtel, siis peab kasutama naaberkäikude osalist ülekattet ühtlase laotamisnormi saavutamiseks.

Iseloomustav vooluhulk: keskmine vooluhulk, mis arvutatakse teatud mahalaadimisaja kohta.

Lubatav hälve: vooluhulga erinevus, näiteks -15% ja +15% iseloomustavast vooluhulgast.

Lubatavas hälbes püsimine: protsent masina tühjendusajast, mille jooksul vooluhulk püsib lubatava hälbe piires.

Pikisuunaline variatsioonikordaja: see on massi jaotus seadme liikumissuunas. Pikisuunalist variatsioonikordajat kasutatakse pikiühtlikkuse hindamisel.

Põikisuunaline variatsioonikordaja: see on massi jaotus seadme liikumissuunaga põikisuunas. Põikisuunalist variatsioonikordajat kasutatakse põikiühtlikkuse hindamisel (Landry, 2005).

2. TAHKED MINERAALVÄETISED

2.1 ÜLEVAADE TAHKETEST MINERAALVÄETISTEST

Tahked mineraalväetised on tahkes olekus mineraalväetised (vt ka 1.1), nad ei voola ega ole pumbatavad. Tahked mineraalväetised jagunevad kristallilisteks, granuleeritud ja amorfseteks väetisteks (TTVK, 1996). Kristallilisel kujul võib olla näiteks ammooniumsulfaat, ammooniumkloriid või kaaliumkloriid. Granuleeritult kaubastatakse näiteks tahket karbamiidi, ammooniumnitraati või topeltsuperfosfaati. Amorfne pulber on näiteks lubilämmastik.

Tahkete mineraalväetiste laotamiseks kasutatakse tänapäeval enamasti ketaslaotureid. Seetõttu on hea laotamisühtlikkuse saavutamiseks oluline, et tahked väetiseosakesed oleks võimalikult homogeensete lennuomadustega - st sama kuju ja massiga. Selle saavutamiseks mineraalväetised tavaliselt granuleeritakse. Granuleerimine võimaldab liitväetiste tootmisel saada laotatavate osakeste ühtlasemat keemilist koostist, st elementide sisaldus ja suhe igas graanulis on sama, mis kogu väetises.

Väetissegud on lihtväetiste mehhaanilised segud, milles erinevate väetiste osakesed võivad olla erinevate lennuomadustega ja see mõjutab väetiste laotamise põikühtlikkust. Ka võib väetissegudes transpordi ajal toimuda väetiseosakeste erinevate suurusfraktsioonide separeerumine, st peenem fraktsioon vajub allapoole. Hästi on see näha mõnede tootjate läbipaistvates väikepakendites.

Kompleksväetised on üldiselt granuleeritud ja laotamiseks heade füüsikaliste omadustega. Kompleksväetised on näiteks kaaliumnitraat, ammofoss, diammofooss, nitrofoska, kristalliin jt (TTVK, 1996).

Järgnevalt on toodud ülevaade enamlevinud tahkete mineraalväetiste omadustest.

Lämmastikväetised e peamiselt lämmastikku sisaldavad väetised.

Ammooniumnitraat (AN) on Eesti põllumehel hästi tuntud tahke lämmastikväetis. Enamasti on kõigi AN-ide sisaldus sama: 34% lämmastikku, sellest pool nitraadina ja pool ammooniumina. Selline koostis on üks sobivaimaid pealtväetisi taliviljadele ja rohumaadele, selle mõju on kiire ja toime pikaajaline. Erinevus on aga graanulite füüsikaliste omadustes. Kolmandatest maadest toodud odaval kaubal võivad olla väga pehmed ja erinevate mõõtudega graanulid ning pulbrilise fraktsiooni suur osatähtsus (Ameerikas, 2010).

Tahke karbamiid. Teine, Eesti põllumehel enam tuntud lämmastikväetis on karbamiid ehk kusiaine (inglise keeles *urea* ja seetõttu erialakirjanduses tähistatakse vahel U tähega). Nõukogude ajal oli see meil laialdaselt kasutuses, kuid iseseisvumise järel on kasutamine vähenenud ca 1000 tonni-

ni aastas. Enamasti oli see Kohtla-Järvel Nitroferdis toodetu või ka Venemaalt pärinev. Lämmastiksisaldus on kõrge - 46%, kuid kõik see on karbamiidina. Karbamiidi taimed otse ei omasta ning esmalt peab väetis mulla mikroorganismide abil läbima nitrifitseerumisprotsessi.

Lämmastik on karbamiidist suhteliselt kergesti lenduv, mistõttu viimane ei sobi pealtväetamiseks - kaod on suured. Graanulid on suhteliselt väikesed, need ei lenda piisavalt kaugelt ja tsentrifugaallaoturiga laotades tuleb ühtlikkuse saavutamiseks väetist laotada kitsama haardelaiusega.

Teatud puuduseks on suur hügroσκοopsus (õhuniiskuse imavus). Lahtiselt laoturis seistes imab väetis endasse kõrge õhuniiskuse korral õhust vett, kaotab seetõttu voolavuse, hakkab kleepuma põimkülvikute väljakülviseadmetesse ja ummistab väljakülvi. Ööseks on ohtlik karbamiidi külvikuse jätta. Graanulid on suhteliselt nõrgad - veol, laadimisel ja pakendamisel lagunevad need kergesti, nii tekib aga palju pulbrit, mis halvendab voolavust külviagregaadiga.

Samas on need puudused teatud juhtudel ka plussiks: tänu pehmele graanulile on karbamiid kergesti lahustuv ning sellest on lihtne valmistada vesilahust taimede täiendavaks lehtede kaudu lisaväetamiseks (vt. ptk 3) (Ameerikas, 2010).

Kaltsiumammooniumnitraat. CAN on lämmastikväetis, millesse kaltsiumi lisamisega on vähendatud N-i osatähtsust 26–27%-le. Seetõttu ei ole seda toodet võimalik plahvatama panna. Kuna paljudes maades on tavaline AN keelustatud selle plahvatusohtlikuse tõttu, on seal aseaineks CAN. Võimalik on CAN-le lisada ka väävlit ja magneesiumit, mis on siis ka etiketil märgitud. Lääne tehastes valmistatud väetises on väävlit tavaliselt 5%, Venemaalt pärinevas 3%.

FinCAN on Soomes toodetav lämmastikväetis, kus on lisaks ka taimedele vajalikud makro- ja mikroelemendid ning loomade ja inimeste tervisele positiivselt mõjuv seleen.

Tahkete mineraalsete lämmastikväetiste tootevalik on lai. Ostmisel ja kasutamisel peab kindlasti silmas pidama lämmastiksisaldust ja ka koostist - kas see on pealtväetamiseks või kohe mulda viimiseks - ja lisaelementide hulka, mida on vaja just teatud kultuuride väetamisel, näiteks rapsi puhul väävel. Oluline on ka füüsiline kvaliteet.

Ammooniumnitraat ja kaaliumnitraat on tule- ja plahvatusohtlikud kemikaalid ja neid käitleval ettevõttel tuleb määratleda oma ohutase lähtuvalt määrusest „Kemikaali ohtlikkuse alammäär ja ohtliku kemikaali künniskogus ning suurõnnetuse ohuga ettevõtte ohtlikkuse kategooria ja ohtliku ettevõtte määratlemise kord.“ (Kemikaali ohtlikkuse ..., 2011).

Fosforväetistest on levinumad superfosfaat ja topeltsuperfosfaat, neid kaubastatakse granuleeritult ja need on väetiselaoturitega hästi laotatavad (TTVK, 1996).

Kaaliumväetised.

Kaaliumkloriid on enimtarvitatav kaaliumväetis. Peenkristallilise kaaliumkloriidi oluliseks puuduseks on suur paatuvus, mille vähendamiseks see kristallitakse ümber või granuleeritakse. Floteerimisel saadakse jämekristalliline roosaka või punaka värvusega vetthülgav kaaliumkloriid. Kaaliumkloriid ei sobi osade kultuuride väetamiseks nende klooritalumatuse tõttu.

Kaalimagneesium on roosaka varjundiga valkjashall peenkristalliline väetis, mis sisaldab 12–15% K ja umbes 10 % Mg.

Kaaliumsulfaat on kas valge või kollakas peenkristalliline vees hästi lahustuv ja hästi laotatav väetis, mis sisaldab 37–43% K (TTVK, 1996).

Väävlit sisaldavad väetised. Kuna õhusaastest saavad taimed üha vähem väävlit, siis seda enam kasutatakse lämmastik-väävel (NS) väetisi. Lämmastik on nendes tavaliselt nii nagu AN-is, nii ammoniumi kui nitraadina. Võimalik on toota väga erinevate koostistega tooteid. Tavaliselt on neis lämmastikku 24–28 ja väävlit 5–14%.

Sõltuvalt tootjast on nimetused erinevad ja ka koostis võib veidi erineda. Soome tehastes tehtud nimetatakse FinNS-ks, Norra tehastest tuleb see nimetusega Axan. Mitted tootjad nimetavad oma lämmastikväävel väetist ammoniumsulfaatnitraadiks (ASN) (Ameerikas, 2010).

Ammooniumsulfaat. Eestis üheks hästitutud lämmastikväetiseks on ka ammoniumsulfaat (AS). Varemkasutatud pärines peamiselt Venemaalt või Ukrainast ja oli erinevate keemiatööstuste jääkprodukt, peamiselt metallitööstusest. Jääkainena oli seda võimalik osta suhteliselt madala hinnaga, kuid väetisel olid ka negatiivsed füüsikalised omadused: kristalliline struktuur ja väga suur hügrooskoopsus. Hoiustamisel võis see kergesti moodustada märgunud suhkru taolise massi ja kivistuda üheks kamakaks.

Positiivne külg on kõrge väävlisisaldus. Lääne-Euroopas kasutatakse ammoniumsulfaati väetisetööstuse toorainena – see ümbertöödeldakse enne põllumeestele müümist. Sellel toote hind tõuseb, kuid väetis muutub suhteliselt hästi käideldavaks. Meil praegu kasutatav AS pärineb peamiselt Saksamaalt või Poolast (Ameerikas, 2010).

2.2 KÄITLUSTEHNOLOOGIAD

Tahkeid mineraalväetisi laotatakse mineraalväetiste laoturitega nii külvielselt kui kasvuaegselt põllu pinnale või viiakse külviaegselt põimkülvikuga mulda. Kõikidel juhtudel eristatakse otseveoga ja etteveoga tehnoloogiat, valik sõltub põldude kaugusest ja suurusest.

Otseveoga tehnoloogiat kasutatakse väikeste veomahude korral, kus põld on hoidla läheduses või piisab põllu töötlemiseks ainult laoturi 1–2-st kastitüüpi.

Sel juhul on käitlusetappideks mineraalväetiste:

- 1) hoiustamine ettevõtte hoidlas;
- 2) laadimine hoidlast laoturisse;
- 3) vedu laoturiga hoidlast põllule;
- 4) laotamine põllule.

Etteveoga tehnoloogiat rakendatakse kui põld asub hoidlast kaugel ja mineraalväetiste veokiga vedu on odavam kui laoturiga vedu. Käitlusetappideks on mineraalväetiste:

- 1) hoiustamine ettevõtte hoidlas;
- 2) laadimine hoidlast veokile;
- 3) vedu veokiga hoidlast põllule;
- 4) laadimine veokist laoturisse;
- 5) laotamine põllule.

Etteveoga tehnoloogia korral võib vajaduse korral „big-bag“-tüüpi ehk suurkottides (joonis 2.1) mineraalväetisi ladustada lühiajaliselt põlluserval kuival ja tasasel alal või haagisel.

Võimalik on ka lasta tarnijal tuua mineraalväetis suurkottides veokiga otse põlluservale – vahetult väetamise ajaks, näiteks siis, kui talus hoidlat ei ole. Pealegi võimaldab see ära jätta mitu tööoperatsiooni.



Joonis 2.1. Suurkottide mahalaadimine ettevõttes (ICL Fertilizers, 2012)

Lämmastik on mullas suhteliselt liikuv element, seepärast tuleb laotamisel järgida nõudeid, et taimed saaksid kogu väetist kasutada kasvuks ja saagi moodustamiseks. Pärast lahendust selleks on N-i jaotatud andmine. Mida vähem lämmastikku korraga anda, seda väiksem on oht, et see jääb taimedel kasutamata ja reostab loodust. Piiri seavad siin laotamiskulud - kui mitu korda on mõttekas põllul sõita. Tavaliselt ei ole N puhul ökonoomne kasutada väiksemaid norme kui 50–60 kg/ha ning taimede omastavusvõime tõttu korraga mitte rohkem kui 100 kg/ha.

2.3 KÄITLUSOPERATSIOONID

2.3.1 HOIUSTAMINE

Väetised liigitatakse ohutuse taseme alusel järgmiselt:

- Rühm A. Plahvatusohtlikud väetised, näiteks kõrge ammoniumnitraadi sisaldusega ained.
- Rühm B. Väetised, milles on võimalik iseeneslik progresseeruv termiline lagunemine (madala temperatuuriga lagunemine). See grupp koosnes varem peamiselt ammoniumnitraadi sisaldavatest kompleksväetistest. Nüüd turustatavad ammoniumnitraadi sisaldavad kompleksväetised kuuluvad gruppi C.
- Rühmad C ja D. Väetised, mis ei plahvata ega ole progresseeruva termilise lagunemise tõttu isesüttivad. (Ullmann's Agrochemicals, 2007).

Nõuded hoidlatele (Veekaitseenõuded ..., 2011). Hoidla väetistega kokkupuutuvad konstruktsioonid peavad olema lekkekindlad ning nende ehitamisel peab kasutama materjale, mis tagavad lekkekindluse hoidla eksploatatsiooniaja vältel. See peab olema ehitatud nii, et väetised ei satuks sademete või tuule mõjul keskkonda.

Hoidla valdaja peab kasutama tavalisi abinõusid kõrvaliste isikute ning loomade hoidlasse sattumise vältimiseks. Tavalisteks abinõudeks loetakse suletud ja lukustatud uksti ning hoone seisukorda, mis ei võimalda inimestel pääseda sinna abivahendeid kasutamata.

Erinõuded ammoniumnitraadi käitlemisele on sätestatud Teede- ja Sideministri määrusega (Nõuded kemikaali hoiukohale ..., 2011). Ammooniumnitraat selle määruse tähenduses on ammoniumnitraat, ammoniumnitraadi valmistis ja ammoniumnitraatväetis. Nimetatud määrukses on detailselt kirjeldatud nõudeid ammoniumnitraadi käitlemisele üldiselt, hoiustamisele, hoidlatele, tähistamisele, teisaldamisele ja laadimisele. Samad nõuded kehtivad ka kaaliumnitraatväetise käitlemisele. Määrus on küllaltki mahukas ja detailne, mistõttu seda siia ei kopeerita. Nende kemikaalide käitlejad on kohustatud nimetatud nõudeid järgima ja on mõistlik kui sealjuures võetakse aluseks Riigi Teatajas avaldatud tekst.

Täis väetisekottide virnastamisel ja virnast võtmisel tuleb tagada, et virn laiali ei vajuks

Tühi väetisetaara on võimalik tagastada väetisemüüjale või viia prügilasse. Viimises kohast tuleb võtta vastuvõtuakt, milles on fikseeritud üleantud kanistrite ja kottide kaal ning üleandja nimi koos kontaktandmetega ja akt edastada väetisemüüjale.

Tähele tuleb panna, et väetisekottide ja kanistrite tagastamisel või prügilasse viimisel ei oleks jäänud kottidesse väetist ning kanistrid oleksid täielikult tühjaks nõrutatud. Tagastatavad kotid peavad olema puhtad ja tagurpidi pööratud (kilega pool väljapool). Kanistrid peavad olema puhtad, kuivad ning korgid eemaldatud. Kogu tagastatav taara peab olema kogutud suurtõukottidesse.

2.3.2 LAOTAMISEKS VALMENDAMINE HOIDLAS

Paljud väetised on hügrokoopseid ja võivad lahtiselt seistes paakuda. Varem, kui väetisi transporditi majanditesse lahtisel kujul, nägi tahkete mineraalväetiste käitlemise tehnoloogia ette ka nende purustamist ja segamist majandis. Nõukogude ajal olid selleks ettevõtetes olemas ka vastavad seadmed (Põllumajanduse mehhaniseerimine, 1980).

Nüüdisajal kaubastatakse väetised enamasti juba tehases segatuna, granuleerituna ja niiskuskindlatesse kottidesse pakendatuna. Terves pakendis püsivad väetised kaua sõmberana. Tehases valmendatud väetiste puhul tagavad kvaliteedinõuded, et väetiste osakesed on vajalikus suurusvahemikus ja toiteained on kogu materjali ulatuses ühtlaselt jaotunud. See on oluline võimalikult ühtlase toitainete jaotumuse saavutamiseks põllul.

Kui väetisi ise purustada ja segada, siis on oht, et osakeste suurus ei ole nõutavas vahemikus, mistõttu neil on väga erinevad ballistilised ja aerodünaamilised omadused. Sel juhul on vähegi tuulisema ilmaga laotamisel tolerantsis püsimine (vt 1.6) küsitav. Kui väetisekastis olev portsjon pole piisavalt homogeenne (osakeste suuruste erinevus ületab lubatud väärtust), siis laotamise ajal laoturi kastis toimub väetise sorteerumine ja see vähendab laotamise pikiühtlikkust (EffizientDüngen, 2012).

Laotamisühtlikkuse seisukohalt on parimad väetised granuleeritud väetised. Pulbriliste, kristalliliste ja granuleeritud väetiste koos laotamisel toimub külvisse kastis ja laotamisel erineva suurusega osiste sorteerumine, mis mõjutab oluliselt laotamisühtlikkust. Kõige kaugemale lendavad graanulid, vahepeale kukuvad kristallid ja pulber ei lenda kuigi kaugemale (kui tuul on nõrk). Tuule tugevus ja suund mõjutab kõige enam pulbri ja kõige vähem graanulite laotamisühtlikkust

Tulemuseks võib olla toiteelementide põhjendamatult ebaühtlane jaotumus põllul (täppviljeluse põhimõtete rakendamisel oleks ebaühtlikkus põhjendatud) ja seega saagi koguse ning kvaliteedi oluline varieeruvus väetatud ala ulatuses. Lisaks on oht, et aladelt, kuhu väetisi sattus rohkem kui taimed suudavad tarbida, haihtub lubamatult palju toitaineid ümbritsevasse keskkonda. Seega kulud, mis tehti väetistele ja nende käitlemisele, ei too mitte kasu, vaid hoopis kahju.

2.3.3 VEDU JA LAADIMINE

Täheid mineraalväetisi transporditakse põllule puistes või kottidesse pakendatult. Väiksemad kogused on 40 või 25 kg-tes padjakujulistes kottides, mis on otstest kokku õmmeldud, kinni keevitatud või kinni liimitud klappotsuga. Enamlevinumaks viisiks on tahkete mineraalväetiste transportimine suurtes 500 või 1000 kg väetist mahutavates tõstesangadega varustatud suurtõukottides. Sellistes kottides

hoitavad mineraalväetised laaditakse laaduriga transpordivahendile, sellega transporditakse põllu servale, ja väetamise käigus tühjendatakse väetiselaoturi või teraviljakülviku väetisekasti. Tühjad kotid tagastatakse tarnijale.



Joonis 2.2. Kotitõstuk laaduri haakes (Sami, 2012)

Väetisekottide laadimiseks kasutatakse teleskooplaadurit, traktori esilaadurit või veokile paigaldatud tõstukit.

Laadimise lihtsustamiseks on võimalik laaduri noolele lisaseadmena haakida kotitõstuk (joonis 2.2). Suurkottides olevate mineraalväetiste hoidlast veoki kasti teisaldamiseks vajalik kraana võib olla paigaldatud traktori rippüsteemile (joonis 2.3). Puistes tahkete mineraalväetiste hoidlast transpordivahendile või laoturile laadimiseks sobivad kopplaadurid ja koguriga kopp, tigu- või kraapkonveierlaadurid (joonis 2.4). Puistes mineraalväetiste hoidlast põllule transportimiseks ja laoturisse laadimiseks kasutatakse tigukonveieritega transpordi-laadimiskäru (joonis 2.5).



Joonis 2.3. Kotikraana (Altec, 2010)

Joonisel 2.5 oleva käru põhjas on väljalaadimistigu. Põhjaluugid on hüdrauliliselt reguleeritavad, mis võimaldab reguleerida materjali väljalaadimise kogust ja kiirust. Kärul

on koorma kaalumiseks elektrooniline kaalumissüsteem. 23 m³ kasti korral on laadimisaeg on 2–3 minutit ja võimsustarve 90 kW.



Joonis 2.4. Konveierlaadur (Iowa, 2007)



Joonis 2.5. Tigukonveieritega transpordi-laadimiskäru (Konekesko, 2012)

2.3.4 LADUSTAMINE PÕLLULE

Väljaspool hoidlat tohib tahket mineraalväetist hoida niiskuskindlates kottides pakendatuna või puistena veekindlal alusel ja kaetuna mahus, mis ei ületa ühe vegetatsiooniperioodi kasutuskogust (Veekaitsenõuded ..., 2011).



Joonis 2.6. Põllu servale vaheladustatud väetisekotid (Vetik, R.)

Seega lühiajaliselt saab suurtes kottides mineraalväetist põlluserval kuival ja tasasel alal ladustada (joonis 2.6). Sage li veetakse kotid traktori järelhaagisega enne laotamist kohale ja vaheladustamine toimubki haagisel, kuna siis ei pea raiskama aega sobiva koha otsimisele - väetamise perioodil varakevadel alati ei pruugi seda leidagi - ja eraldi laadimisoperatsioonidele.

2.3.5 LAADIMINE PÖLLUL LAOTURISSE

Pöllumul on suurtest kottidest väetise laoturisse laadimiseks vaja tõsteseadet. Sageli kasutatakse selleks traktori esilaadurit, mille noolel on konks kottide tõstmiseks. Mõnel juhul on koos laoturiga traktori rippüsteemil (joonis 2.7) või väetise veoks kasutataval järelhaagisel kraana, millega saab koti tõsta laoturi kasti kohale. Seejärel kott lõigatakse alt lahti ja väetis voolab kasti.



Joonis 2.7. Suurkottis oleva mineraalväetise transpordivahendilt laoturi kasti teisaldamiseks vajalik kraana võib olla paigaldatud koos laoturiga traktori rippüsteemile (Altec, 2009)

2.3.6 LAOTAMINE JA MULDA VIIMINE

2.3.6.1 Mineraalväetiste laoturid

Mineraalväetiste laoturiteks nimetatakse masinaid, mida kasutatakse pulbriliste, kristalliliste või granuleeritud mineraalväetiste laotamiseks.

Mineraalväetise laoturite kohta öeldakse kõnekeeles ka väetisekülvikud. Kuna aga külvamine on seotud seemnetega, mis viiakse mulda, siis seda terminit ei ole väetiste puhul õige kasutada ja terminoloogiliselt on väetiste puhul korrektsem rääkida laotamisest ja laoturitest, sest kirjeldatavas olukorras laotatakse väetised mulla pinnale.

Laotureid liigitatakse peamiselt nelja tunnuse alusel:

- 1) väetamisviisi järgi: laus- ja reasväeturid (näiteks väeturkülvik, kartuli väeturpanur, väeturistuti jne);
- 2) haakimisviisi järgi: ripp-, poolripp-, haake- ja liikurlaoturid;

- 3) etteandesüsteemi järgi: mehhaanilised ja pneumaatilised;
- 4) laotamiseadme tüübi järgi: ketas-, rootor-, pendel-, kast- ja torupoomlaoturid.

Laoturite põhisõlmed on väetisekast, võlvipurusti, annusti, laotamiseade, raam ja ajam ning poolripp-, haake- ja liikurlaoturitel veel etteandekonveier ning veermik. Liikurlaoturil on lisaks masina juhtimiseks ja liikumiseks vajalikud seadmed.

Väetisekast on ühe- või mitmeseksiooniline ja asub traktori rippmehhanismil, laoturi raamil või omaette haagisel. Väetisekast või selle alaosa on trapetsikujulise ristlõikega.

Võlvipurustid hoiavad ära võlvide tekke väetisekastis. Haagislaoturi väetisekasti põhjas on väetise etteandeks laotamiseadmele lint- või liistkonveier. Konveier koosneb veo ja pingutustrumlist, veo- ja lastikandelementidest ning seda käitatakse laoturi ratastelt või traktori jõuvõtuvõllilt.

Annusti ülesanne on tagada pidev ja ühtlane väetisevool laotamiseadmele vajaliku laotamisnormiga. Annustid jagunevad passiivseteks ja aktiivseteks. Passiivsed annustid väetist ei liiguta ja selline on näiteks piluannusti. Aktiivsed annustid liigutavad väetise osakesi ja nendeks on näiteks on rull-, laba- ja taldrikannustid.

Piluannusti tööparameetriks on pilu ristlõike pindala, mille muutmiselega seatakse väetise laotamishulka. Pilu suurus reguleeritakse klapi või siibriga. Reguleeriseadiseks on kang- või krüvimehhanism või hüdrocilinder. Pilust juhitakse väetis suunuriga laotamiseadmele. Suunur kujutab endast letrit või renni.

Aktiivse annusti tööparameetriks on liikumiskiirus ja jõuülekanne saab see käiguosa rattalt (joonis 2.8) või traktori jõuvõtuvõllilt. Jõuvõtuvõllilt tuleva ülekanne korral tuleb töö tegemise ajal arvestada traktori liikumiskiirust. Täiuslikematel laoturitel on selleks juhtarvuti, mis aitab laotamisel hoida etteantud väetiseannust.



Joonis 2.8. Väetiselaoturi annusti mehaaniline ajam käigurattalt (Vettik, R.)

Juhul, kui jõuülekanne annustile tuleb käiguosa rattalt, ei mõjuta traktori liikumiskiirus külvinormi. Jõuülekanne annustusseadmele võetakse käiguosa rattalt kettülekandega. Kasutatakse ka sururattaga jõuülekanne süsteemi. Sururattaga süsteemi korral surutakse pneumorehviiga ratas vastu käiguosa ratast hüdrosilindri abil ja jõuülekanne annustile toimub kettülekande kaudu. Sururatta survejõudu vastu käiguosa ratast reguleerib rõhuaku. Niiske mulla korral võib sururatas hakata käiguosa rattalt libisema, siis tuleb sururatta rehvide paigaldada ümarlüliliketid.

Enne põllule minekut seatakse laotamisnorm õigeks valmistajatehase juhendi järgi ja vajadusel tehakse põllutingimustes praktiline katse (vt 2.3.6.2). Ettenähtust erineva tulemuse korral muudetakse väetise etteannet. Veel kontrolitakse laoturi üldist tehnilist korrasolekut – rehvides rõhku, rattalaagrite lõtku, piduri- ja elektrisüsteemi korrasolekut, kettülekannetes kettide pingust jne. Peale tööperioodi lõpu tuleb väetiselautur hoolikalt puhtaks pesta, kuna väetis korrodeerib intensiivselt metalli. Kõik metalliläikepinnad ja ketid tuleb katta kaitsemäärdega ja seejärel paigaldada katuse alla hoiule (Urva, 2012)

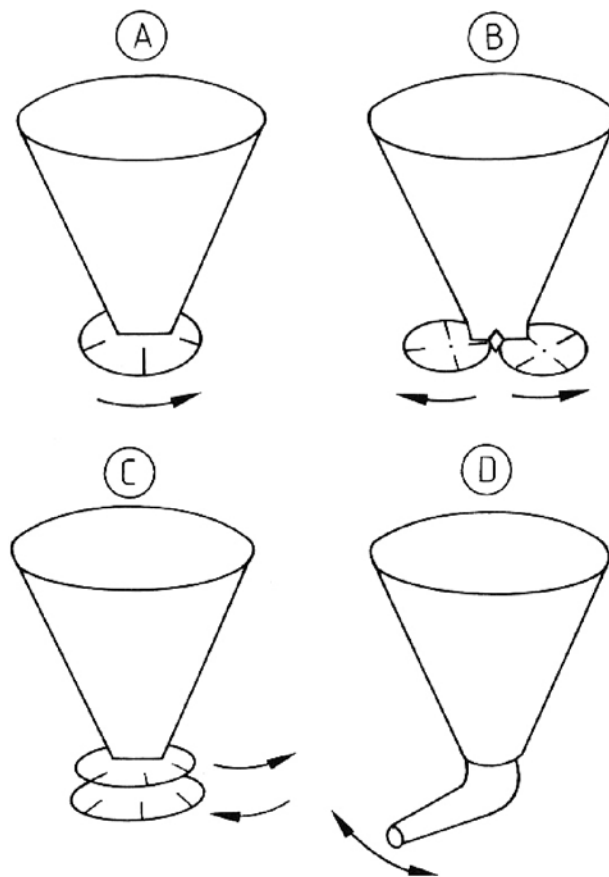
Mehhaanilised paisklaoturid jagunevad ketas- (ühe- või kahekettalised), pendel- (joonis 2.9) ja rootorlaoturiteks

Mineraalväetiste paisklaotur laotab väetisi poolringikujulisele või poolellipsikujulisele pinnale laoturi taha ja külgedele. Laotamislaius on suurem kasulikust töölaieust. Pinnauhiku kohta laotatav väetisekogus väheneb laotamisala servade suunas ja seetõttu väetiste ühtlase põikjaotumuse saavutamiseks laotatakse ülekattega (Ullmann's Agrochemicals, 2007).

Ketaslaoturid (joonis 2.9a-c ja 2.10) on enamlevinud paisklaoturid, nende töölaieus on kuni 45 m. Ketaslaoturi põhisõlmedeks on labadega tasapinnalised või koonusekujulised laotamiskettad (või ketas), annusti, väetise kast, raam ja haakesead. Ketaste labad on vahetatavad ja reguleeritavad (joonis 2.11). Laoturi kettale juhitakse mineraalväetise ühtlane juga ja suure pöörlemissagedusega labadega ketas paiskab tsentrifugaaljõu mõjul väetise laiali. Väetise ühtlasema jaotumise põllupinnale tagab pealtvaates poolringikujuline etteanne laotamiskettale. Ketasorganid töötavad seda paremini, mida ühtlasema struktuuriga on väetis. Ebaühtlase struktuuri korral on pulbrilise ja peenekristallilise fraktsiooni ja laotamisketta vaheline hõõrdetegur suurem kui jämedastruktuurilisel fraktsioonil ning väetis jaotub tööeel väga ebaühtlaselt. Jäme materjal visatakse kettalt varem maha ja enamik sellest satub masina küljele. Ketaslaoturi peamiseks eeliseks on lihtsus ja suur tootlikkus.

Laotamisketast käitatakse mehaanilise jõuülekandega (traktori jõuvõtuvõllilt), hüdro- või elektrimootorilt. Kardaanülekande korral on ketas kinnitatud koonushammasrasreduktori võllile (kahe ketta korral käitatakse teine ketas kiilrihmülekande abil reduktoriga kettalt); hüdroülekande korral on ketas kinnitatud hüdro-mootori võllile (kahe ketta

korral kasutatakse teise ketta käitamiseks rihmülekanne); elektrilise ülekande korral on kettad kinnitatud sünkroonmootorite võllidele, mis saavad käitusenergia sünkroongeneraatorist. Sünkroongeneraatorit käitatakse jõuvõtuvõllilt reduktori või rihmajami kaudu. Kahe laotamisketta korral peavad mõlemad kettad hea külviühtlikkuse saamiseks pöörlema võrdse sagedusega.



Joonis 2.9. Mineraalväetiste paisklaoturid: a) ühekettaline ketaslaotur, b) kahekettaline ketaslaotur, c) korruslaotur; d) pendellaotur (Ullmann's Agrochemicals, 2007)

Kasutusel on ka erinevad nn „äärelaotamis-süsteemid“, mis võimaldavad kettalabade vahetamiseta väetada ka põllu servi. Vajaliku töölaieuse määramisel on sealjuures abiks GPS-süsteem.

Nüüdisaja laoturitel on elektrooniliselt juhitud külje- piirajad, mida saab traktori pardaarvutist vajalikku asendisse lülitada, et takistada väetiseosakeste lendu laoturist külgsuunas (joonis 2.12). See tähendab osa kettalt paiskuvast väetisevoo suunamist lamellisuunuri abil, et optimeerida väetise jaotumust põllu serval.

Külje- piiraja liigutamisega ette-taha antakse piiraja lamellidele sõidusuuna suhtes vajalik nurk, mis sõltub väetise liigist ja maksimaalselt lubatud külgsuunalisest laotamiskaugusest. Täpsemad juhised on antud laoturi küljel oleval kleebisel ja laotamistabelis. Kui piirajat ei kasutata, siis pööratakse see hüdrosilindri abil üles.



Joonis 2.10. Mineraalväetise ketaslaotur väetist laotamas (Amazone, 2011)



Joonis 2.11. Laotamisketta labade asendi muutmise võimalus (Amazone, 2011)



Joonis 2.12. Mineraalväetise küljepiiraja väetiselaoturul, tööasendis (Amazone, 2011)

Rootorlaoturite laotamise seade sarnaneb ketaslaoturite omale. Erinevuseks on, et tööorganiks on rootor, millel on suurem labade arv kui ketaslaoturil. Väetis suunatakse rootori labadele läbi rootori rummu. Suurem labade arv tagab tihedama heitelevikute arvu ühe kettapöörde kohta ja seega ühtlasema laotamisepildi. Rootorlaoturiga laotamisel on võrreldes ketaslaoturiga väiksem oht väetisgraanulite

purustamiseks kuna väetise osakesed on rootori rummus pöördliikumises juba enne labadele langemist (Kverneland, 2012).

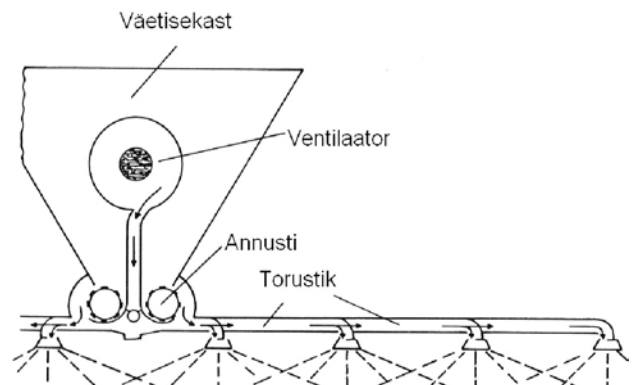
Pendellaotur (joonis 2.9d ja 2.13) on rõhttasapinnas võnkuva paisketoruga väetiselaotur, mille töölaius on teadaolevalt kuni 15 m. Väetis paisatakse välja küljelt – küljele võnkuva vahetatava otsakuga paisketorust. Pendli võnkaare kõõl on risti sõidusihiga.

Pendellaoturid ei ole kuigi laialdast kasutust leidnud, kuna nende laotamislaius on maksimaalselt kuni 15 m (Pujolm, 2008).



Joonis 2.13. Pendellaoturi laotamise seadeks on rõhttasapinnas pendeldav toru, mis väetise põllule laiali paiskab (Pujol, 2008)

Pneumaatilise väetiselaoturi (joonis 2.14) põhisõlme seadeks on ventilaator, annusti, õhutorud, toru otses aktiivsed või passiivsed paiskurid, väetisekast, raam ja haakeseaded. Traktori jõuvõtuvõllilt kardaan- ja rihmülekanne kaudu ajami saav ventilaator puhub õhuvoolu plastist torudesse. Õhuvool, mille sisse annustatakse väetist, kannab väetise laotamise seadestesse, ja puistab sealt põllu pinnale laiali (Ullmann's Agrochemicals, 2007).



Joonis 2.14. Pnemolaoturi põhimõtteskeem (Ullmann's Agrochemicals, 2007)

Pnemolaoturite töölaieks on teadaolevalt kuni 36 m. Neil on jaotumuse tiivad ja seetõttu ka ülekatte riba kitsam võrreldes paisklaotamisega (joonised 2.21 ja 2.22). Pneu-

molaotur sobib ketsalaoturist paremini pulbrilise ja peenstruktuurilise väetise laotamiseks, kuna neid on õhuvoolu abil kergem liigutada. Samuti on võimalik töökaigu otstel etteantud normist väiksema hääbega laotada, kuna laotamislehvikud on paisklaoturite omadest oluliselt lühemad.

Laotamiseadiseid on laoturil töölaiuse ühe meetri kohta tavaliselt üks. Annustiks võib olla kettkraapkonveier, labadega lintkonveier või trummelannusti. Annusti saab jõuülekande käiguosa- või tugirattalt kettülekande kaudu. Ripplaoturitel võib jõuülekande annustile olla kas hüdrauliline või mehhaaniline.

Torupoomlaoturitel (joonis 2.23) on väetise põiksuunas jaotamiseks torupoom. Torus on tigu, mis veab annustist lehrtrite kaudu torusse kukkuvat väetise poomi keskel otse suunas. Piki torupoomi alakülge on avad, mille kaudu väetis pudeneb põllule. Sellised laoturid on haardelaiusega 6–8 m. Tigulaotureid eelistatakse pulbrilise väetise laotamisel. Efektiivne laotamislaius on poomi laiusoga võrdne ja seetõttu nõuab sellise laoturiga töötamine täpset paralleelsõitu, et vältida tühikuid ja topeltnormiga laotamist (joonis 2.24).

Toodetakse ka laotureid, millel saab granuleeritud väetise laotamiseks kasutatava ketsalaotamiseadme vahetada torupoom-laotamiseadme vastu (joonis 2.15), et sellega on pulbrilist väetist (näiteks lubiväetist) laotada.



Joonis 2.15. Vahetatava laotamiseadmega väetiselauturil saab vahetada ketsaadme torupoom-seadme vastu (Vettik, R.)

Kastlaoturitel on väetisemahuti põhi kujundatud puis-telaotamiseadmena (joonis 2.16) - põhjaavade kaudu puistatakse väetis põllule kasti laiuselt. Sõidusuunaga risti kasti põhjas olev rõhtne tigukonveier tagab väetise etteande kasti põhjaavadele. Kastlaoturil on väetisekast ja annusti võrdse haardelaiusega. Kuna need laoturid on aga väikese töölaiusega ja nõuavad täpset paralleelsõitu, siis nad ei ole kuigi levinud.

Põimmasinad. Mullaharimisriistad, millele on paigaldatud nii peenseemnekülvik kui mineraalväetise laotur võimaldavad ühitada nii mullaharimise, külvi kui ka väetise laotamisoperatsioonid (joonis 2.17).



Joonis 2.16. Kastlaotur mineraalväetise ja lubja täpseks laotamiseks (Altec, 2012)

Toodetakse ka roomikkäiguosaga haakelaotureid. Joonisel 2.18 oleval 16 t kandevõimega laoturil on 0,9 × 3,6 m kummiruumikud. Haagislaoturi hüdropump (158 l/min) saab ülekande traktori jõuvõtuvõllilt, laoturil on õlipaak ja õli jahutamise süsteem. Laotamiskettad ja etteandekonveier on hüdraulilise ajamiga. Laoturi eeliseks on suur kandevõime ilma, et mulda liigselt tallataks.



Joonis 2.17. Põimagregaat samaaegselt mullaharimiseks, peenseemne külviks ja väetise laotamiseks (Tamm, K.)



Joonis 2.18. Roomikutel laotur mineraal- või lubiväetise laotamiseks (Doyle, 2012)

Enne põllule minekut seadistatakse väetiselautur etteantud laotamisnormile ja kontrollitakse väetise väljumist juhttorust. Kaalutakse laotur koos väetisega ja seejärel liigutakse soovitud kiirusega põllul 100 m. Seejärel kaalutakse laotur uuesti ja arvutatakse laotamisnorm pinnauhikule. Ettenäh-

tust erineva tulemuse korral muudetakse väetise etteannet. Õigesti reguleeritud masinal ei tohi norm erineda etteantust üle 15% (Põllunduse mehhaniseerimine, 1980).

Laoturi hoolduse käigus kontrollitakse kardaanülekanet, rihmülekanes rihmade pingust, etteandemehhanismi, laotamisseadmeid torude otstes, plasttorude kinnitust ja kulumist. Peale tööperioodi lõppu puhastatakse laotur hoolikalt väetisest ja paigaldatakse hoiule katuse alla.

2.3.7 VÄETISELAOTURITE LAOTAMISÜHTLIKKUSE KONTROLL

Lausväetamise korral seisneb kontroll väetamisühtlikkuse e laotamisühtlikkuse määramises ning vahelejätud kohtade väljaselgitamises. Laotamisühtlikkust saab määrata väljakülvatud väetisekoguste mõõtmisega (Fortuna, 1985).

Põllumajandusministri 2004–2008. aastail kehtinud määruse “Põllumajandusmaa lupjamise toetuse taotlemise ja taotluse menetlemise kord ning lisanõuded meliorandile” alusel kehtestati 2005. aastal „Meliorandi laotamise kontrollimise juhend“.

See juhend sobib ka tahkete mineraalväetiste laoturite laotamisühtlikkuse kontrollimiseks. Järgnevalt tuleb selles jaotises „väetise“ all mõista nii tahket mineraalväetist kui lubiväetist.

Rahvusvahelise standardi kohaselt iseloomustavad väetise laotamise kvaliteeti:

- 1) väetise annuse vastavus ettenähtule;
- 2) väetise jaotamise ebaühtlikkus laoturi haardelaiuse ja liikumise ulatuses.

Väetise laotamistöõde kvaliteedi kontrollimisel (visuaalne kontrollimine) kõlvikul vaadeldakse laotamistöõde ühtlikkust ja fikseeritakse väetisega katmata alad.

Laotamisühtlikkuse mõõtmine (instrumentaalne kontroll) tuleb teostada vahetult enne töö algust laoturisse laaditud väetisega, et vältida tihenemisest tingitud tõrkeid. Mõõtmist ei tohi teha vihma, lörtsi ja tuisu tingimustes.

Mõõtmisel on vajalikud järgmised vahendid: kogumispannid, kaal, mõõdulint ja käsihari. Kogumispann on mõõtmisprofiilile asetatud ribirestidega anum väetise laotamise kontrollimiseks (joonis 2.19). Mõõtmisprofiil on kõlviku iseloomulikkude kohta paigutatud kogumispannade rida. Väetise mõõtmise komplektis peab olema vähemalt 20 kogumispanni.

Kogumispannid peavad vastama järgmistele nõuetele:

- 1) püüdepind 0,25 m² – ülaserjade keskmine vahekaugus 500±5 mm;
- 2) sügavus 100–150 mm;
- 3) proovi väljapuhumist vältivad ribirestid tihedusega vähemalt 80 x 80 mm, kõrgusega mitte üle 30 mm allapoole kogumispanni servasid;
- 4) kogumispannid ja ribirestid peavad olema valmistatud plastmassist;
- 5) mõõtmisel kasutatavad kogumispannid ning ribirestid peavad olema puhtad ja kuivad.



Joonis 2.19. Kogumispannid, mille abil määratakse väetise põikjaotumust (Freestone, 2011)

Kaal peab olema lugemitäpsusega 1 g, mõõtepiirkonnaga 0–5000 g. Mõõdulint töökaikude vahekauguse määramiseks peab olema vähemalt 20 m pikkune. Käsihari on vajalik väetise eemaldamiseks kogumispannist.

Põllumajandusmaale laotatud väetise annus ja laotamise ebaühtlikkus määratakse kaalumeedodil. Väetise laotamise ebaühtlikkus W väljendatuna 1% täpsusega arvutatakse standardhälbe S kaudu järgmiste valemite järgi:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_k)^2}{n-1}}$$

$$W = \frac{100 S}{X_k}$$

kus X_k – mõõtepannil oleva väetise keskmine mass mõõtmisprofiilil, g;
 X_i – igal mõõtepannil oleva väetise mass, g;
 n – mõõtepannade arv mõõtmisprofiilil.

Väetise annus A arvutatakse t/ha järgmise valemi järgi:

$$A = \frac{4X_k}{100}$$

Väetise annuse ja laotamise ühtlikkuse kontrollimiseks tuleb valida mõõtmisprofiili paigutamiseks kõlviku iseloomulik ala, kus agregaat töötab normaalrežiimil. Mõõtmisprofiil on soovitatav valida kõlviku tasasel osal. Laotamisagregaat peab töötama vähemalt 20 m enne mõõtmisprofiili normaalrežiimil. Torupoom-laotamisseadmetega laoturi tolmuksid tuleb üles tõsta ja poomi külge kinni siduda, et vältida kogumispannade ümber paiskumist.

Kogumispannid paigutatakse liikumissuunaga risti ühte ritta (silmaoõduliselt) nii, et äärmised kogumispannid jääksid väljapoole agregaadid haardelaiust. Nii on võimalik täpsemalt määrata laoturi tegelik haardelaiust ja töökaikude ülekatte, arvestades seejuures tuulekannet.

Kogumispannade paigutamisel tuleb lähtuda põhimõttest, et need paikneksid võrdsetel vahekaugustel. See hõlbus-

tab edaspidist arvutust. Ideaaljuhul peaksid kogumispannide teljed paiknema täismeetril agregaaadi teljest. Agregaaadi rataste liikumistee tuleb vabaks jätta. Üks kogumispann asetatakse agregaaadi liikumisteljele.

Edasi jätkub kogumispannide rida mõlemale poole väljaspool agregaaadi rataste ulatust. Sõltuvalt laoturi tüübist ja rataste gabariitidest paigutatakse kogumispannid järgmiselt:

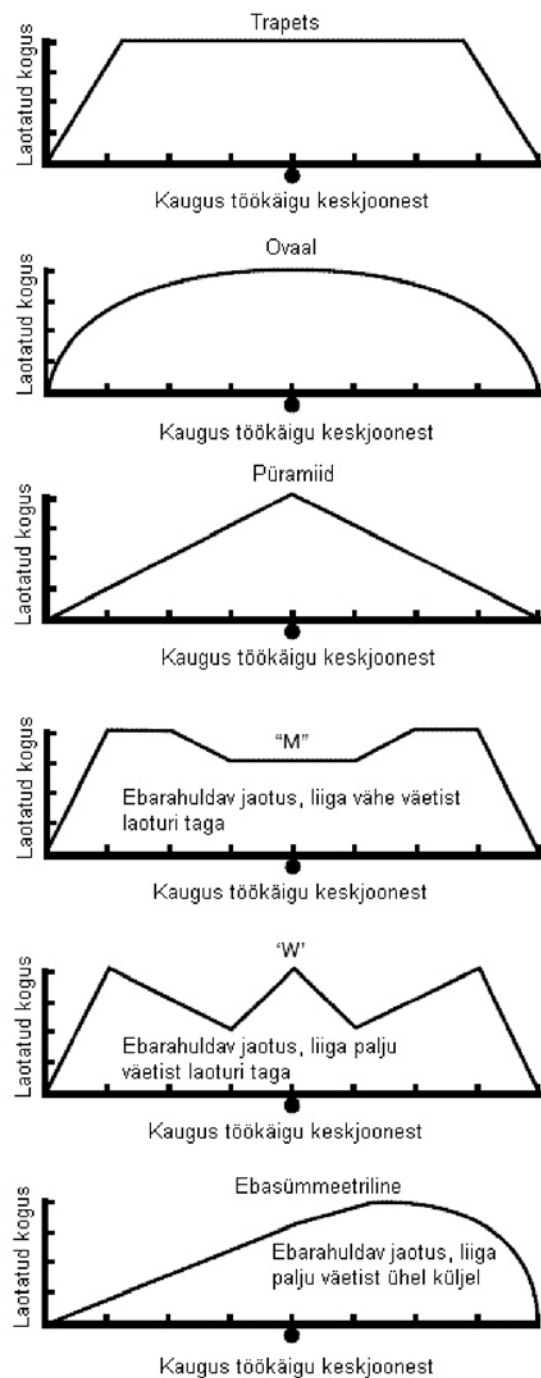
- torupoom-laotamisseadmetega laoturi puhul paigutatakse pannid nii, et agregaaadi teljel oleva ja väljaspool agregaaadi gabariite olevate esimeste kogumispannide servade vahele jääks vabaks 3 või 4 kogumispanni laiust; edasi paigutatakse pannid külj-külje kõrvale. See võimaldab arvutustes elimineerida näilist ebaühtlikkust, mis tuleneb sellest, et mõne kogumispanni kohale satub üks, mõne kohale aga mitu laotamisepoomi väljalaskeava;
- ketas- ja düüslaotamisseadmete puhul paigutatakse kogumispannid nii, et agregaaadi teljel oleva ja väljaspool agregaaadi gabariite olevate esimeste kogumispannide servade vahele jääks vabaks 3 kogumispanni laiust. Edasi paigutatakse kogumispannid ühemeetrise vahega nende teljest teljeni, st. et servade vahele jääb 0,5 m ehk ühe kogumispanni laiust.

Pärast seda kui mõõtmisprofiilil on väetis laotatud, kaalutakse kogumispannides olev väetise kogus 1 g täpsusega. Agregaaadi rataste liikumisteele jäävas „mõttelises“ kogumispannis oleva väetise mass arvutatakse agregaaadi liikumisteljel ja väljaspool ratas paikneva mõõtmispunkti proovi masside aritmeetilise keskmisena. Väetise keskmise massi määramisel juhinduda järgmisest: agregaaadi rataste teelt ära jäetavate „mõtteliste“ kogumispannide massid arvutatakse agregaaadi teljel oleva ja väljapoole rattaid jäävate esimeste kogumispannide masse interpoleerides. Seejuures peab arvestama kogumispannide paiknemist agregaaadi telje ja esimese kogumispanni vahel - tuleb arvestada proovi massi lineaarset muutumist selles ulatuses.

Väetise laotamise ebaühtlikkuse näitaja määratakse mitmesuguste haardelaiustega väetamisel. Äsja väetatud põllul mõõdetakse (agregaaadi jälgede järgi) 10 korduses masina naabertöökäikude vahekaugus (tema tegelik töölaius) ja leitakse tööee laiuse keskmine väärtus. Agregaaadi töö kontrollimisel saadud andmed iseloomustavad antud masinaga väetise laotamise ebaühtlikkuse sõltuvust tema töölaiusest. See laotamise ebaühtlikkus on väetise jaotamise kvaliteedi näitajaks antud põllul.

Väetise laotamisel torupoom-laotamisseadmega masinatega (mis omavad püsivat töölaius), hinnatakse tööde kvaliteeti masina konstruktiivse haardelaiuse ulatuses pärast väetise kaalumist kogumispannidel ja andmete läbitöötamist. Põllutingimustes sõltub väetise laotamise kvaliteet üsna palju masina juhtimise täpsusest, sellepärast tuleb kvaliteeti hinnata ka külgnevate lubjatud ribade ülekate iseloomustava näitaja järgi. Ülekate ulatuse määramiseks mõõdetakse tootmispõllul

kümnes korduses agregaaadi naabertöökäikude vaheline kaugus. See näitaja võib olla positiivne - kui toimub külgnevate töökäikude ülekatmine, ning negatiivne - kui tootmispõllul esinevad agregaaadi naabertöökäikude vahel väetamata alad.



Joonis. 2.20. Tüüpilised kahekettalise laoturi laotamismustrid. Kui kolm ülemist mustrit on rahuldava kujuga, siis kolme alumise korral vajab laotur seadistamist

Laoturi töö kvaliteeti saab konstruktiivse haardelaiuse ulatuses hinnata ka jaotumusgraafiku abil. Selleks kantakse nii tegelike kui mõtteliste kogumispannide X_i -väärtused graafikule, kus horisontaalteljel on panni kaugus laoturi töökaigu piki-keskjoonest ja vertikaalteljel on pannis oleva väetise mass.

Erinevatel laoturitel võib väetise jaotumus olla erinev (joonisel 2.20 trapets, ovaal või püramiid) aga teatud ülekattetega laotades on selliste jaotumuste korral võimalik saavutada rahuldavat põikühtlikkust. Kui aga jaotumus on M, W või ebasümmeetrilise kujuga, on ka ülekattetega laotamisel raske piisavat põikühtlikkust saavutada.

Ülekatte keskpunkt peab olema punktis, kus väetise kogus moodustab poole maksimaalsest kogusest, sest järgmise töökäiguga lisandub teine pool. Masina tegelik töölaius on paiskelaius miinus ülekatte laius (joonis 2.21).

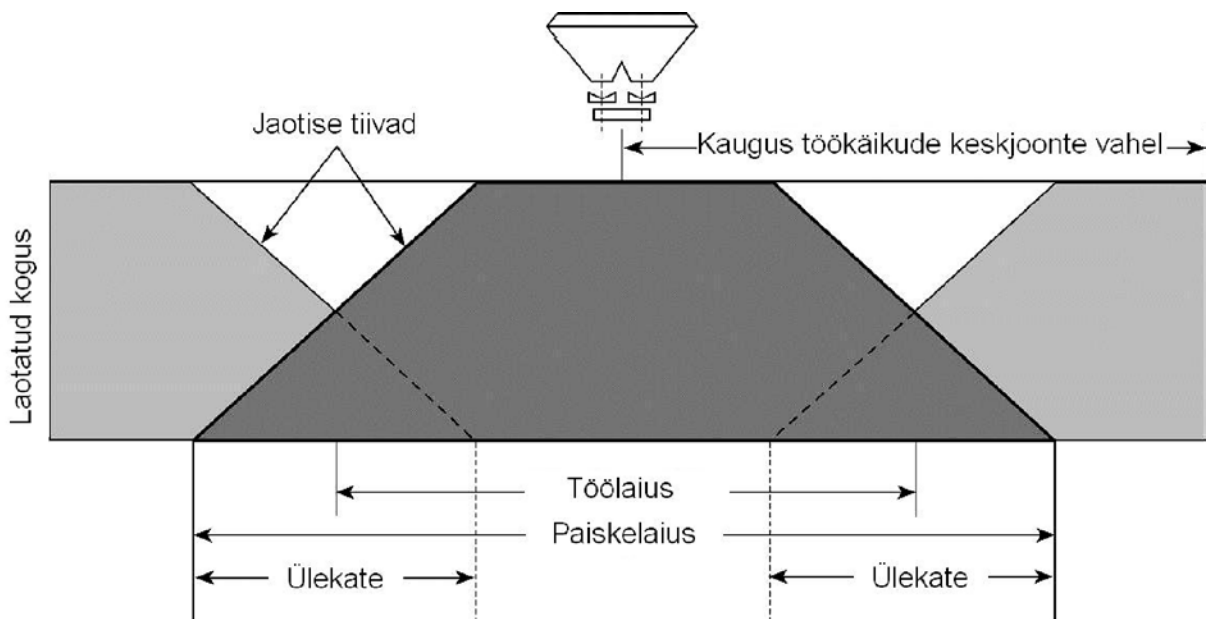
Silmas tuleks pidada, et ka hästi reguleeritud paiskelaoturi korral on raske piisavat ühtlikkust saavutada, kui tuulekiirus on üle 7 m/s (Fulton, 2010).

Lisaks põikühtlikkusele on oluline ka pikisuunaline ühtlikkus. Selle tagamiseks tuleb laotamise ajal sõita võimalikult

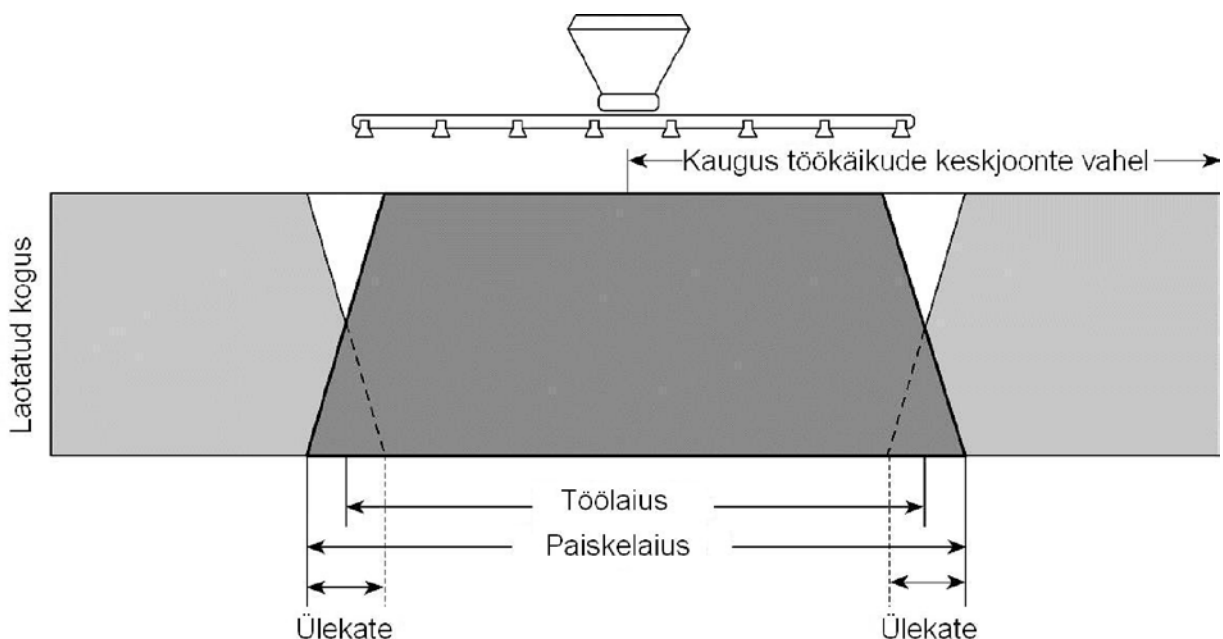
ühtlase kiirusega ja vältida tuleks laoturi kasti tühjaks saamist töökäigu keskel, kuna ilma GPS-ta on raske hiljem samast punkti leida, et sealt jätkata. Oluline on vältida võlvide teket ja kamakaid väetises, mis takistavad väetise ühtlast etteannet laotamisseadmetele.

Põllul tuleks liikuda võimalikult sirgejooneliselt, sest pööretel satub sisekurvi keskmisest rohkem ja väliskurvi keskmisest vähem väetist, ja seda suurema hällbega, mida väiksem pöörderaadius ja lähemal töölaiuse servadele.

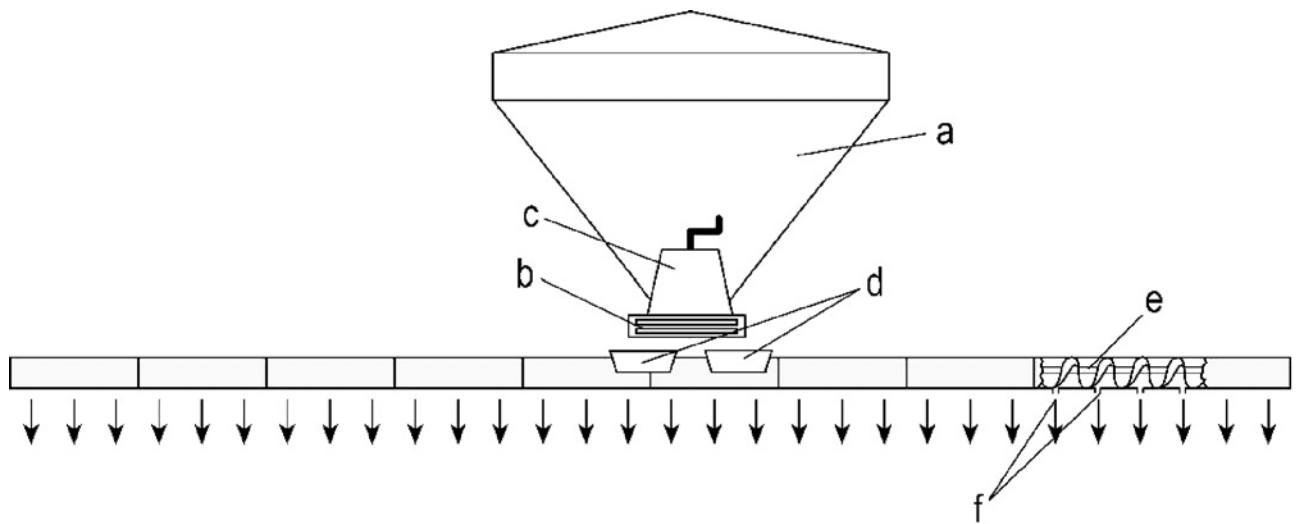
Ka põllu reljeef mõjutab laotamisühtlikkust. Piki nõlva külge sõites on laoturist allpool laotamislaius suurem ja pinnahüvikule sattuv väetise kogus väiksem kui laoturist üleval pool. Risti üle küngaste ja läbi lohku sõites muutub laotamisseadme kalle maapinna suhtes ja seega pikiühtlikkust.



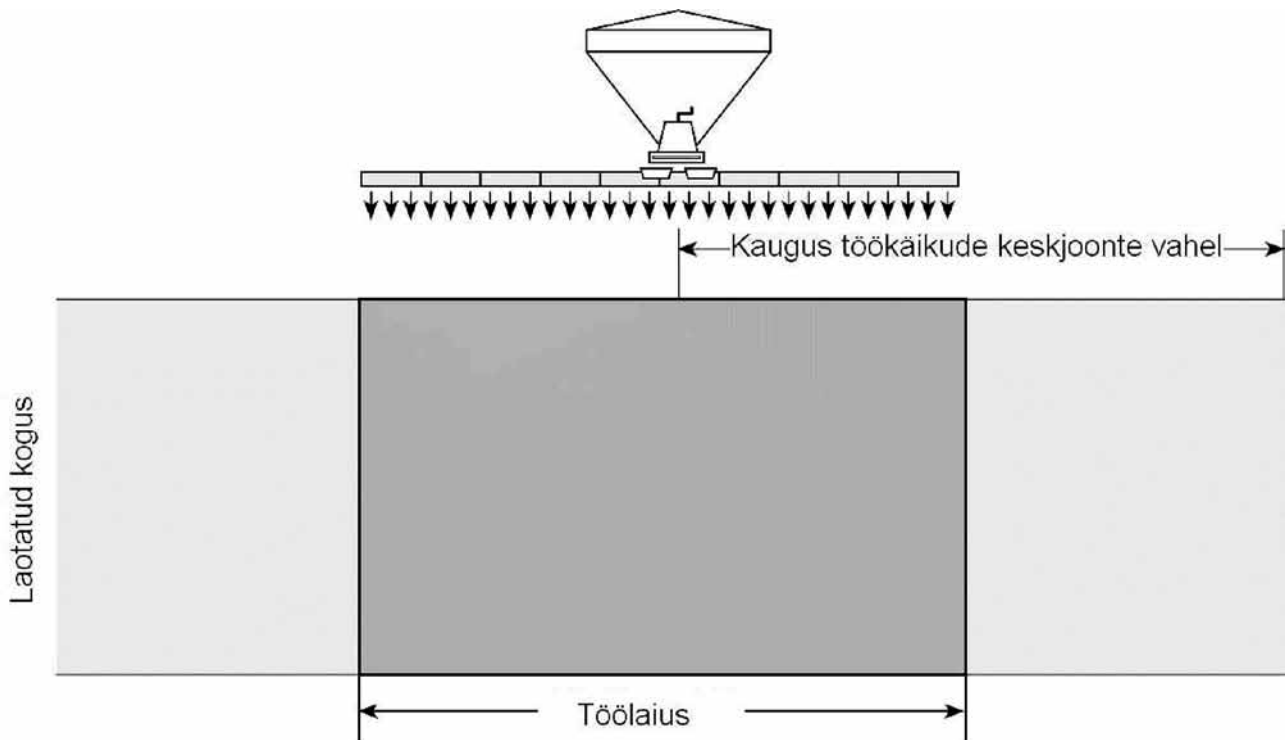
Joonis 2.21. Väetise põiksuunaline jaotumus ketaslaoturiga laotamisel (Ullmann's Agrochemicals, 2007)



Joonis 2.22. Väetise põiksuunaline jaotumus pneumolaoturiga laotamisel (Ullmann's Agrochemicals, 2007)



Joonis 2.23. Torupoom-laoturi põhimõtteskeem: a) väetisekast, b) annusti lint, c) annusti reguleerisiiber, d) väetiselehtrid tigu kohal, e) tigu, f) avad poomis (Ullmann's Agrochemicals, 2007)



Joonis 2.24. Väetise põiksuunaline jaotumus torupoom-laoturiga laotamisel (Ullmann's Agrochemicals, 2007)

3. VEDELAD MINERAALVÄETISED

3.1 ÜLEVADE VEDELATEST MINERAALVÄETISTEST

Vedelad mineraalväetised on vedelas olekus mineraalväetised, nad voolavad ja on pumbatavad. Vedelad mineraalväetised võib käitlustehnoloogiliste eripärade järgi jagada kolme rühma:

- 1) kontsentratsioonväetised, mida ei ole enne väetamist muude ainetega lahjendatud, näiteks ammoniaak;
- 2) väetiste lahused, milles komponendid on lahustunud kujul, st. lähteained peavad olema vees lahustuvad/lahustunud;
- 3) suspensioonväetised, need vajavad enne tarvitamist loksutamist või sisaldavad stabilisaatoreid, mis peaksid hoidma suspensiooni ruumiliselt ühtlasena.

Enamasti on vedelväetised vesilahustena, milles toiteained on taimedele hästi omastataval kujul. Vedelväetised võivad sisaldada nii makro- kui mikrotoiteelemente ja nendega väetatakse kultuure nii mullakaudselt kui juureväliselt. Vedelväetiste valmistamisel on lähteaineteks peamiselt ammoniaak, ammoniumnitraat, karbamiid, fosforhape või kaaliumkloriid (UNIDO, 1998).

Käesoleva raamatu kontekstis eristatakse:

- 1) mulda viidavad vedelväetised;
- 2) põllu ja taimede pinnale antavad vedelväetised.

Ammooniumlämmastikku sisaldavaid väetisi antakse ammoniaagi lendumise vältimiseks enamasti muldaviivate seadmetega.

Mulla ja taimede pinnale antavad vedelväetised on enamasti väetised, mille hektarinorm on küllaltki väike, nn leheväetised ja mikroväetised, mida annustatakse vesilahuse-na taimekaitsepritsidega.

Järgnevalt on esitatud ülevaade olulisematest vedelatest lämmastikväetistest.

UAN. Varem oli see väetis tuntud KAS-na (K - karbamiid, AS - ammooniumsalpeeter). Sama vedelväetise tänane nimetus on karbamiid-ammooniumnitraat, tuntud ka lühendina UAN (ingl. k. *urea and ammonium nitrate*). See on ammooniumnitraadi ja karbamiidi värvitu vesilahus. Müügil on väetisi erineva lämmastikusaldusega: 32, 30, 28 ja 18 massiprotsenti. Näiteks 28 massiprotsendi lämmastikusaldusega väetises UAN-28 on 7% nitraatlämmastikku, 7% ammooniumlämmastikku ja 14% amiidlämmastikku (karbamiidi). Kui UAN sisaldab 32% lämmastikku, siis on sellest 7,75% nitraadina, 7,75% ammooniumina ja ülejäänud karbamiidina.

UAN on tavaliste taimekaitsevadmetega laotatav (Lechler, 2011). Taimede taluvust arvestades (põletusohu) oleks aga parem kasutada vastavaid eriseadmeid, mis on eriti vajalikud kriitilistes (ilmastiku-) tingimustes.

UAN käitlemisel tuleb arvestada, et UAN-28 kristalliseerub $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$, UAN-30 $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja UAN-32 juba $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, juures. Kristalliseerunud väetis võib säilituspaagis kihistuda ning laotamisel ummistada torud ja pihustid. Kui temperatuur tõuseb, sulavad kristallid taas lahuseks.

UAN korrodeerib pehmemaid teraseid ja värvilisi metalle. Kaubaväetise pH on 7–7,5, mis aitab vähendada korrosiooniohtu ladustamisel ja transpordil ning stabiliseerida karbamiidi ja ammooniumnitraati. Söövitusintensiivsus on stabiliseeritud, kergelt ammoniaagi järele lõhnaval UAN-l võrreldav soolalahusega. Kõik vedelikuga kokku puutuvad detailid peavad vedelväetisi taluvad olema.

Kuna UAN on korrodeeriva toimega, siis on pärast pritsimist masinate puhastamine ja hooldamine väga oluline.

Paagi täitmisel tuleb arvestada, et UAN erimass on suurem kui tavaliselt pritsimissegudel (vt tabelit 3.1) ja ei ületataks haakelaoturi lubatud teljekoormust. Vastasel juhul ei tohi paaki täis panna. Samuti tuleb silmas pidada, et kurvides on suurem oht külili minna.

UAN-S - lahus. Lahus sisaldab lämmastikku 24–28% ja väävli 3–8%. Lahust laotatakse nagu UAN-i (Lechler, 2011).

Ammooniumsulfaadi vesilahus on lõhnatu, selge, kergelt kollaka või merevaigu tooniga. Külmutustemperatuur on $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ (GC, 2011). Müüakse enamasti kontsentratsiooniga 8% ammooniumlämmastikku ja 9% vees lahustuvat väävli. Lahus aitab kiirendada põhu lagunemist. Taimekaitsepritsi kasutamisel tuleb arvestada, et väetise pH on 5,5–6. Väetist kasutatakse sageli leeliseliste muldade pH langetamiseks. See ei ole segatav kaaliumit sisaldavate väetistega ega leeliseliste ainetega. Ammooniumsulfaati laotatakse ka koos glüfosaatidega, et parandada herbitsiidi molekulide liikumist läbi taimede pinna (FNA, 2011).

NP - lahus sisaldab 34% vees lahustuvat fosforit ja 10% ammooniumlämmastikku. Mõlemad komponendid on juureväliselt omastatavad. Enamasti antakse seda lahust UAN-ga segatuna.

Vedel karbamiid on tegelikult orgaaniline enam-vähem neutraalne väetis. Seetõttu on see ka vähem korrodeeriv võrreldes näiteks UAN-ga. Taimede põletusohu vähendamiseks ja erinevate lämmastikuvormide kombineerimiseks kasutatakse vesilahuse valmistamiseks ka AN-i ja karbamiidi segu (Ameerikas, 2010).

Ammoniaak on kõige kontsentreeritum lämmastikväetis (N - 82,3%). Selle käitlemine erineb teiste vedelate mineraalväetiste omast nii oluliselt, et ülevaade selle väetise omadustest ja käitlusviisidest on käsitletud eraldi, jaotises 3.5.

Ammoniaagivesi on ammoniaagi vesilahus, mis sisaldab 20–26% ammoniaaki ehk 16,0–20,5% lämmastikku. See on läbipaistev, mõnikord kollase varjundiga tugeva nuuskpiiri-

tuse lõhnaga vedelik. Suurem osa ammoniaagivee lämmastikust on ammoniaagina (NH_3) ja osa ammoniumhüdrosiidina (NH_4OH). Aururõhk 25%-lise ammoniaagivee kohal on madalatel temperatuuridel tühine, 40 °C juures aga 0,15 baari. Külmumistemperatuur on 25%-lisel ammoniaagiveel -56 °C, 20%-lisel -33 °C ja 10%-lisel -22 °C.

Ühe toimeühiku efektiivsus on õige kasutamise korral samasugune kui tahketel lämmastikväetistel.

Seadmetes ei tohi olla detaile vasest või selle sulamitest, sest need korrodeeruvad ammoniaagivee toimel kiiresti. Ammoniaagivesi korrodeerib ka alumiiniumi ja selle sulameid.

Töötamisel ammoniaagiveega tuleb täpselt täita tööohutuse nõudeid (TTKV, 1996).

Tabel 3.1 Mõningate vedelväetiste erimass (Simplot 2013)

Vedelväetis	Erimass, kg/l
NP - lahus (10/34)	1,38
UAN-S lahus (25/6)	1,31
Ammooniumsulfaadi lahus	1,24
Vedel karbamiid	1,1
Ammoniaagi vesilahus (N20)	0,91

3.2 KÄITLUSTEHNOLOOGIAD

Lähtuvalt vedelväetiste omadustest ja väetamise konkreetsetest eesmärkidest kasutatakse nende põllule andmiseks kas:

- 1) taimede juurevälist väetamist;
- 2) maapinnale laotamist või
- 3) muldaviimist.

Muldaviimisel eristatakse pesiti ja lõhesseväetamist.

Juurevälist väetamist nimetatakse ka lehtede kaudu väetamiseks. Kuna aga taimiku pritsimisel puutuvad kõik taimeosad, va. juured, väetiste lahustega kokku, siis on täpsem nimetada seda juurevälisteks väetamiseks. Seda moodust kasutatakse taimede toitainete puuduse kiireks korvamiseks. Kuna aga toitainete kontsentratsioonid väetiste lahustes ei saa põletamisohu tõttu enamasti kuigi kõrged olla, siis tuleb põhiväetada ikkagi mulla kaudu. Juurevälistelt väetatakse juhul, kui ilmneb, et põhiväetistega antud toitainetest jääb taimedel vajaka või mullaomadused takistavad mullast toitainete omastamist.

Juurevälist väetamise tehnoloogia hõlmab väetiste:

- 1) hoiustamist ettevõttes;
- 2) segamist pritsimissegusse;
- 3) vedu põllule;
- 4) taimekaitsepritsiga pritsimist.

Juurevälist vedelväetisi müüakse enamasti kas 1, 5, 10 või 20 l plastkanistrites. Mõned väetised on saadaval ka suuremates - 210 või 1000 l - paakides. Juurevälist pritsimislahuse valmistamiseks mõeldud tahkeid väetisi kaubas-

tatakse kuni 25 kilogrammistes paberkottides. Kemikaalide hoiustamisel, kasutamisel ja tühjade pakendite käitlemisel tuleb juhinduda toote etiketil olevast kasutusjuhendist.

Maapinnale laotamise eesmärk on mulla väetamine. Ka maapinnale laotamiseks kasutatakse sageli taimekaitsepritsese. Seetõttu on üldine töökorraldus ja agregaatide valik sarnane juurevälist väetamisega. Erinevus on ainult kasutatavate pihustite konstruktsioonis, need peavad tagama võimalikult suure osa väetiste maapinnale suunamise võimalikult väikese triiviga.

Vedelväetiste muldaviimine on oluline ammoniaaki sisaldavate väetiste korral, kuna see lämmastikuühend on kergesti lenduv. Muldaviimine aitab vähendada ammoniaagi lendumiskadu ja suurendada seda sisaldavate väetiste tõhusust. Kuna lämmastik on üks põhitoiteelemente, siis võrreldes kahe eelkirjeldatud väetamisviisiga kasutatakse selles tehnoloogias suhteliselt suuri väetiste koguseid. See tingib suuremaid hoiustamis-, laadimis- ja veomahtusid. Sõltuvalt põldude kaugusest ja suurusest ning väetamisnormist eristatakse otseveoga ja etteveoga tehnoloogiaid.

Otseveoga tehnoloogia sobib väikeste veomahtude korral, kui põld on hoidla läheduses või piisab väetamiseks ainult laoturi mõnest paagitäiest. Sel juhul on käitlusetappideks vedelväetiste

- 1) hoiustamine ettevõtte paakhoidlas;
- 2) pumpamine hoidlast laoturisse;
- 3) vedu laoturiga hoidlast põllule;
- 4) põllule laotamine.

Etteveoga tehnoloogia rakendatakse enamasti juhul kui põld asub hoidlast kaugel ja vedelväetiste vedu paakveokiga on odavam kui vedu laoturiga. Käitlusetappideks on siis vedelväetiste

- 1) hoiustamine ettevõtte hoidlas;
- 2) pumpamine hoidlast paakveokisse;
- 3) vedu paakveokiga hoidlast põllule;
- 4) pumpamine paakveokist laoturisse;
- 5) laotamine põllule.

Töökorralduse sujuvamaks muutmiseks peaks laoturi laotamisjõudlus ja ettevedava paakveoki veojõudlused tasakaalus olema. Sel juhul ei pea laotur ja ettevedav paakveok teineteise järel ootama. Alati ei ole võimalik seda aga saavutada ja siis kasutatakse etteveo tehnoloogias mõnel juhul ka puhverpaaki vedelväetise vaheladustamiseks põllul. Käitlusetappideks on siis vedelväetise

- 1) hoiustamine ettevõtte hoidlas;
- 2) pumpamine hoidlast paakveokisse;
- 3) paakveokiga vedu hoidlast põllule;
- 4) pumpamine paakveokist puhverpaaki;
- 5) hoiustamine puhverpaagis;
- 6) pumpamine puhverpaagist laoturisse;
- 7) laotamine põllule.

Vedelväetiste agressiivsuse tõttu on oluline seadmete

puhastamine pärast nende kasutamist. Vedelväetiste kasutamisel on vajalik masinate puhastuskoha, -vahendite ja -seadmete olemasolu ettevõttes (vt ka 3.4.2 ja 3.4.6). Arvestada tuleb ka vastava ajakulu ja töötajate instrueerimisega.

3.3 VEDELVÄETISTE KASUTAMISE EELISED JA PUUDUSED

Ettevõttes vedelväetistel põhineva väetamisstrateegia rakendamine on seotud investeringutega, mille kavandamisel on selgitamist vajavateks küsimusteks:

- vedelväetiste tarnekindlus, kas väetisi on sobivast kaugusest ka mitme aasta pärast piisavas koguses saada;
- kus väetisi ettevõttes ladustatakse;
- kuidas väetisi hoidlast põllule veetakse;
- millised on nõuded pritsidele ja laotamisseadmetele;
- kas on võimalik taimekaitse- ja väetamistoid teha sama agregaadiga, kui ettevõttes on ainult üks taimekaitseprits;
- kas ollakse valmis riskima ohuga taimikut vedelväetistega kahjustada, kui väetatakse valel ajal või valede seadmetega;
- milline on vedelväetiste kasutamise positiivne efekt.

Vedelate mineraalväetiste laotamiseks kasutatakse sageli taimekaitsepritsi. Kui ettevõtte kavatseb oma väetamisstrateegias pritsi senisest enam rakendada, siis tuleb arvestada ka selle seadme kiirema amortiseerumisega. Samas võimaldab see kasutada pritsi senisest tõhusamalt, väheneb nende moraalse vananemise oht ja ettevõtte saab neid sagedamini nüüdisaegsemate vastu välja vahetada.

Kogemused Inglismaa ettevõttes, kus mindi täielikult üle pritsipõhisele väetamisele, näitavad, et pritsi koormus kasvab 40–50%. 330 ha põllumaa korral kasvas aastane töötundide arv 250-lt 400-le (Rickatson, 2007).

Kui pritsi kasutatakse ettevõttes lisaks taimekaitsele ka enamike väetamistööde tegemiseks, siis suure pritsimismahu korral võib ettevõttes olla põhjendatud liikurpritsi soetamine. Kuna mineraalväetiste ripplaoturid koormavad traktori tagasilda olulisel määral, siis on oht, et tehnoradadele tekkivad sügavad rööpad. Liikurpritsi kasutamisel on koormus jaotatud kahele sillale ja rööpaid nii kergesti ei teki. Kui põllul kasutatakse ainult vedelväetisi, tehakse kõik hooldustööd külvi ja koristuse vahel pritsiga. See tähendab, et tehnoradadel liigutakse ainult ühte mõõtu rehvidega.

Võrreldes taimekaitsevahenditega, pritsitakse vedelväetisi suuremate tilkadena, mis on vähem tuuletundlikud. Laotamiseks on kohane jahe ja röske ilm. Tuul mõjutab tahkete mineraalväetiste paisklaotamise täpsust ja -ühtlikkust oluliselt enam kui vedelate väetistega väetamisel, eriti kui viimast tehakse rippannustitega.

Pritsitavad vedelikunormid on väetamisel tavaliselt suuremad kui taimekaitse puhul. Seepärast tuleb arvestada ka suurema ajakaoga paagi täitmisele hektari kohta. Pritsi

pumpamisjõudlus peab olema piisavalt suur, et ka suuremate laotamisnormide korral oleks võimalik normaalse liikumiskiirusega töötada.

Vedelväetis on korrodeeriv ja seetõttu tuleb isegi roostevabast terasest pinnad puhtad hoida.

Taimekaitsepritsiga vedelväetiste laotamise plussid võrreldes mineraalsete tahkeväetiste laotamistehnoloogiaga:

- tänu suuremale töötundide arvule kasutatakse taimekaitsepritsi enam ja seega on väiksem oht pritsi moraalseks vananemiseks;
- väetise laadimiseks ei ole vaja tõstukit;
- ei ole vaja katusealust väetise ladustamiseks, kasuliku katusealuse pinna vabanemine;
- kasutatud väetiskottidega ei ole vaja tegeleda, ei ole ka katkistest väetiskottidest tingitud probleeme;
- masinajuhil on väiksem otsekontakt väetistega;
- kehv (nõrga vihmaga) taimekaitseilm on sageli just sobiv väetamiseks;
- taimekaitsetöölt väetamisele üleminek võtab vähem aega võrreldes juhuga kui traktori taga tuleb prits väetislaoturi vastu vahetada;
- võimalus nõrga lämmastikulahusega pealtväetada kui toimub toidunisu kiire proteiiniloome;
- võimalus kasutada kultuuride tärkamiseeliseks pritsimiseks vedelate lämmastikväetiste ja herbitsiidide paagisegusid. Lämmastik aitab otsekülvi korral kiiremini laguneda vanadel taimejäänustel, mis takistavad noorte taimede tärkamist ja mille alla meeldib nälkjatel ennast peita.

Vedelaväetiste kasutamise miinused:

- taimekaitsepritsi amortiseerub kiiremini ja vajadus pritsi sagedamini pesta/õlitada/määrida;
- suurem risk, et sama agregaat on korraga vaja kasutada nii taimekaitsetöökui väetamiseks, samas ei ole alati võimalik kemikaale kokku segada ja taimekaitsetööd ning väetamist korraga teha;
- kultuurtaimede põletamise oht;
- tööd tuleb sageli teha siis, kui ilm lubab, mitte siis kui on agronoomiliselt optimaalne;
- vedelate lämmastikväetiste tootjate arv on piiratud ja see mõjutab oluliselt väetiste hindu;
- hoidla asub ettevõttes ühes kohas, seetõttu tuleb sõita tagasi hoidlasse või kasutada ettevõtte spetsiaalset paakveokit;
- mõnikord peab laotamisega ootama, kuni taimedele on piisav vahakiht tekkinud;
- ettevõtte vajab vedelväetiste ladustamiseks spetsiaalset hoiukohta, mis peab olema väetiseveokitele hea juurdepääsuvõimalusega;
- külmade eel peab seadmed erilise tähelepanuga üle kontrollima, kas nad on väljas valitsevateks miinuskraadideks

ettevalmistatud. Seadmed tuleb lõhikülmumise vältimiseks tahkumisaltilt vedelikest tühjendada.

Rakendamine täppisviljeluses

Taimekaitsepreitsiga on võimalik asukohapõhiselt küllaltki täpselt vedelväetisi annustada ja seetõttu on see meetod täppisviljeluses hästi kasutatav (vt 3.4.5 ja ptk 10).

Lämmastikväetise kiire mõju tõttu on evitatud süsteeme, mis aitavad taimedele asukohapõhiselt lämmastikku annustada vastavalt nende hetkevajadusele.

3.4 KÄITLUSOPERATSIOONID

3.4.1 HOIUSTAMINE

3.4.1.1 Nõuded vedelväetiste hoiustamisele

Vedelväetiste ladustamisel tuleb tähelepanu pöörata vee- ja pinnasekaitsele. Sobimatu mahuti, selle vale paigaldus või puudulik ohutusvarustus võib põhjustada keskkonnale märkimisväärsed kahjustusi. Põllumajandustootja, kellel on vedelväetiste hoidla, peab omama teavet ohtlike materjalide käitlemise nõuetest.

Vedelväetised, tavaliselt karbamiidi ja ammooniumnitraadi lahused, NS-lahused või NP-lahused, kuuluvad vett-ohustavate ainete hulka.

Vetohustavate ainete säilitamise ja täitmise seadmetist peab olema paigaldatud, hooldatud ja käitatud nii, et oleks välistatud vee saastumine või muude omaduste kahjulik muutus. Sama kehtib ka ühendustorudele.

Veekaitse nõuded vedela mineraalväetise hoidlale Lenduvad gaasid emiteerivate vedelate mineraalväetiste hoidla peab olema õhukindlalt suletav ja valmistatud rõhkutaluvatest ning vedelate mineraalväetiste suhtes keemiliselt vastupidavast materjalist. Hoidla mahutid peavad olema ümbritsetud piirdega, mis mahuti lekke korral hoiab ära väljavoolava väetise laialivalgumise. Juhul kui piirde rajamine ei ole võimalik, tuleb rajada reservmahuti, mis täitub isevoolu teel ja mille maht on võrdne suurima mahuti mahuga. Hoidla peab olema ümbritsetud aiaga, mis väldib kõrvaliste isikute ning loomade sinna pääsemise (Veekaitse seadus, 2011).

Nõuded mahutite paigaldusele (Werit, 2010):

- mahuti aluspind peab suutma täidetud mahutit kanda;
- aluspind peab olema tasane ja puhas, et vältida punkt-survet;
- mahuti põhi peab olema asetatud rõhtsalt.

Mahuti materjal peab olema keemiliselt sobiv hoiustatavale vedelikule (kahtluse korral peaks seda küsima paagi tootjalt); ja vedeliku temperatuur peab olema paagi materjalile sobivas temperatuurivahemikus.

3.4.1.2 Hoiumahutid

Vedelväetiste hoiustamiseks kasutatakse enamasti kas UV-kindlast, suure tihedusega polüetüleenist (HD-PE – *High*

Density Polyethylen) või roostevabast terasest mahuteid, mis on varustatud täitmis/tühjendamise/segamispumbaga, üle- ja alarõhuklapiga, ventileerimisavaga, hooldusluugi, täite- ning tühjenduskraani ja tasemenäidikuga. Mahutid on enamasti kas püstsilindri- (joonis 3.1), risttahuka (Werit, 2010) või padjakujulised (joonis 3.2). Püstsilindrid on paremaks tühjendamiseks sageli alt koonusjad ja toetuvad tugijalgadele.



Joonis 3.1. Terasjalgadel koonuspõhjaga vedelväetiste plastmahutid mahuga 1,8–45 m³ (Snyder, 2010)

Võrreldes terasega on plastist mahuti survele vähem vastupidav. Plastmahutites ei ole üldiselt lubatud väetisi rõhu all hoiustada. Risttahukakujulistel plastmahutitel on külgsurve taluvuse suurendamiseks sageli ümber terasviitsad. Jälgida tuleb, et vedeliku erimass ei ületaks mahuti tootja poolt ettenähtud väärtusi. Näiteks mõni tootja lubab vitstega mahutis hoida vedelikke erimassiga kuni 1,2 kg/l ja tugevdatud vitstega mahutis vedelikke erimassiga kuni 1,55 kg/l (Werit, 2010). Mahutite tootmisel kasutatav plast on tavaliselt küll muudetud UV kindlaks, kuid sellegipoolest soovitatakse neid elua pikendamiseks hoida varjus või siseruumis.



Joonis 3.2. Padjakujuline kottmahuti vedelväetiste hoiustamiseks (Excon, 2013)

Vedelväetiste hoiustamiseks valmistatavate plastmahutite suurim maht on seni teadaolevalt kuni 62 m³. Tugijalgadel asetsevate ja koonuspõhjaliste plastpaakide mahud ulatuvad paarist kuni poolesaja kuupmeetri. Lisaks terasjalgadele toodetakse väiksematele paakidele ka plastjalgu, mille puhul ei ole korrodeerumisohtu ja neid on kergem teisaldada. (Snydr, 2010).

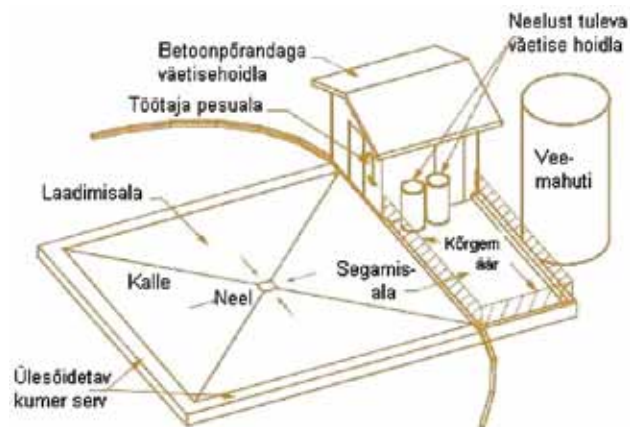
Poolläbipaistvast plastist paakide korral on vedelikutase näha läbi paagi sein. Plastpaagid on oluliselt kergemad kui teraspaagid, mistõttu esimesi on lihtsam transportida ja need ei vaja nii tugevaid tugikonstruktsioone. Polüetüleenist paagid on vastupidavad enamikele kemikaalidele. Et aga vedelväetis oleks võimalik pikemat aega säilitada teraspaakides, siis lisatakse vedelikule sageli korrosiooni-inhibiitorit (Wolf, 1998).

Toodetakse ka padjakujulisi kottmahuteid mahutavusega 10–200 m³. Kottmahuteid tehakse tugevast polüetüleenist ja need on kaetud mitmekordse UV-kindla PVC kihiga. Kottmahutid tuleb paigutada vedelikukindlale tasasele alusele kas spetsiaalsesse vanni või maa sees olevasse lekkekindlalt vooderdatud lohku takistamaks väetise valgumist keskkonda, kui mahuti läheb katki või vedelik valgub välja ülevooluklapist. Tootjad annavad mahutile 10-aastase garantii. Mahutid sobivad lämmastik- ja väävelväetiste hoiustamiseks (Excon 2013).

3.4.2 LAOTAMISEKS VALMENDAMINE

Nõuded segamis- ja laadimiskohale. Vedelväetiste segamisel ja laadimisel tuleb jälgida, et seda tehtaks võimalikult kaugel kaevudest ja lahtistest veekogudest. Vältida tuleks platse ja teid, mis on kaetud kruusa või muu kergesti imava materjaliga. Eelistada tuleks kohta, kus on väheimav aluspind ja kust on võimalik maha läinud kemikaali lihtne kokku koguda, näiteks betoneeritud või asfalteeritud plats või põrand (joonis 3.3). Samuti sobib segamise ja laadimise asukohaks väetatav põld.

Nõuded veele. Väetisesegude valmistamiseks kasutatav vesi peab olema puhas, segu tuleb valmistada vahetult enne selle kasutamist. Tähked preparaadid, pastad ja paksemad emulsioonkontsentraadid segatakse enne vähese veega ja kurnatakse seejärel ülejäänud vee hulka. Kergesti lahustuvaid või emulgeeruvaid kontsentraate võib kasutada ilma eellahustamata. Kui töösegu valmistatakse pritsi paagis, peavad segu valmistamise ajal pritsi segurid töötama.



Joonis 3.3. Väetiste hoidmise ja laadimise sõlm (Hodges, 2004)

Vedelväetiste segamine

UAN on veega igas vahekorras segatav ja väetisetootjate andmetel on sellega võimalik väetada koos teiste lisatud toitainetega (mõrusool, mikroväetised).

UAN on kasutatav nii puhtalt kui koos veega. Veega segamisel on näiteks soovitatav UAN-28 ja vee vahekord vähemalt 1:3, veel parem oleks 1:4 või 1:5. Oluline on, et koos taimekaitsevahendiga pritsimisel pritsimisvedeliku norm ei oleks alla 150 l/ha. Kui see norm on väiksem, tuleb arvestada taimekaitsevahendi ebaühtlasema jaotumusega, kuna UAN suurendab tilkade pindpinevust ja seega tilkasid. Kui tehakse mitmest vahendist segu, tuleb eelnevalt teha proovisegu ämbrisse, et selgitada ebasoovitava vahu ja sette tekke võimalust.

UAN lahuseid ei tohi segada kaltsium-ammoonium-nitrat väetistega (CAN) ega teiste kaltsium-ammooniumil põhinevate lahustega. Kui segatakse, tekib paks piimvalge lahustumatu sade, mis võib ummistada pritsi torustikku ja pihusteid (Wolf, 1998).

UAN ja taimekaitsevahendite segamisel tuleb lähtuda kemikaalide tootjate infost.

Karbamiidi puhul on üldiselt probleemiks selle piiratud lahustuvus. Kui segada karbamiidi veega, siis lahustumiseks kulub nii palju energiat, et lahuse temperatuur langeb. Sellega aga lahustuvus väheneb ja segu tuleb rohkem segada. Seetõttu on karbamiidi lahustamisel soovitatav kasutada sooja vett. Segamiseks võib kasutada ka paikseid seadmeid. Füüsikalistel põhjustel ei ole soovitatav lahustada enam kui 300 g karbamiidi 1 liitri vee kohta.

Segamisseadmed. Mõnel juhul on vedelväetis tarnija poolt juba segatud laotamiseks sobivasse kontsentratsiooni ja vahekorda. Sageli aga tarnitakse väetist kontsentreeritud kujul ja põllumees peab väetisesegu ise valmistama lähtuvalt põllu vajadustest. Segamine toimub enamasti hüdrauliliselt laotamise seadme paagis laoturi pumba abil. Sel juhul on laotur varustatud segamisfunktsiooniga, mis võimaldab paagisegu läbi pumba ringvoolule suunata. Mõnel juhul on laoturil ka spetsiaalne segamispump. Pritsidel, mille poomi torudes pritsimissegu pidevalt ringleb, on täiendavalt tagatud ka vedeliku ühtlane segatus kogu ringluspumba töö aja vältel.

3.4.3 HOIDLAST LAADIMINE JA VEDU

Kui ettevõttes laaditakse vettõhustavaid vedelikke, siis peab ümberlaadimisplats välistama materjalide lekkimise pinnavette, kanalisatsiooni või pinnasesse.

Selleks tuleb jälgida, et:

- plats, kus käitlemine toimub, on selle aine suhtes kõikide töö- ja ilmastikutingimuste korral vastupidav ja ei lase vedelikku läbi ja
- pinna kalde, äärekivide või muude tehniliste kaitsemeetmetega on loodud võimalus mahavalgunud vedeliku ko-

gumiseks ja sadestamis- ning puhastussüsteemi juhtimiseks.

Vedelate mineraalväetiste laadimisel on soovitatav kasutada torude-voolikute suletud süsteemi, et vältida võimalikku kemikaali leket.

Normaalrõhul vedelväetisi transportitakse enamasti plastpaakides. Vedelväetiste veoks toodetakse ka spetsiaalseid paakhaagiseid. Osa haagised on vedelväetise ümberpumpamiseks varustatud tsentrifugaalpumbaga. Mulla tallamise vähendamiseks võivad haagistel olla suured rattad ja sel juhul on paak paigutatud ümberminekuoju vähendamiseks rataste vahele. Seetõttu võivad mõlemad sillad paremaks manööverdatavuseks olla pööratavad (joonis 3.4).



Joonis 3.4. Pööratavate sildadega paakhaagis (Redball, 2011)

Rõhtse silindrilise paagi põhi peab täielikuks tühjenemiseks olema tühendusava suunas kaldu ja ka sel juhul ei ole täielik tühjenemine alati saavutatav, kui ava ei asu täiesti paagi ühes otsas. Seetõttu valmistatakse selliseid paake ka koonilise põhjaga. Need paagid peavad aga kogu põhja pikkuses toetuma kindlale alusele. Teise võimalusena kasutatakse püstseid silindrilisi koonilise põhjaga paake. Nende puhul on aga probleemiks täidetud paagi suhteliselt kõrge raskuskeske (Liquidsystems, 2011).

Ammoniaagivee aururõhk ei ole temperatuuril alla 36 °C märkimisväärne. Küll aga lendub ammoniaak ammoniaagiveest kergesti ja lämmastikukadu võib olla märkimisväärne, kui säilituspaak on ebatihe. Seepärast tuleb väetisi hoida ja transportida hermeetilistes paakides, mis on arvestatud rõhule 1,5–2 baari (TTKV, 1996). Paake tuleks hoida varjus ja neil peavad olema ülerõhuklapid.

Vedelväetisi veetakse ka paakautodega (joonis 3.5). Sadulveokile paakide kiireks kinnitamiseks ja sealt eemaldamiseks kasutatakse jalgadega paakpoolhaagist. Paakauto eeliseks on suurem transpordikiirus maanteedel ja parem manööverdatavus võrreldes paakhaagisega. Puuduseks aga kehvem läbivus põllul ja vastava auto olemasolu vajadus ettevõttes.

Põllul veokist laoturi paaki pumpamise ajakao vältimiseks vahetatakse mõnel juhul laoturi järel veetavaid paakhaagiseid. Seega teine traktor veab tühjad paakhaagised täitmisele ja sealt täidetuna põllule tagasi. See on mõttekas juhul, kui paagi täitmisaeg on pikem kui lahti- ja külgehaakimise aeg. Samas eeldab selline töö organiseerimine varuks vähemalt ühte paakhaagist.



Joonis 3.5. Paakauto vedelväetise veoks (Tamm, K.)

3.4.4 LADUSTAMINE PÕLLULE

Vedelväetise vaheladustamiseks kasutatakse sageli polüpropüleenist püstiseid silindrilisi paake. Et need põllul ka püsti seisaksid ja tühjana teisaldatavad oleksid, on need tavaliselt madalal haagisel. Neid paake ei saa aga vedelväetise transportimiseks kasutada suure ümbermineku ohu tõttu. Paagi põhi on parema tühjenemise tagamiseks koonusjas. Teadaolevalt toodetakse selliseid paake mahuga kuni 20 m³ (Liquidsystems, 2011).

3.4.5 LAOTAMINE JA MULDAVIIMINE

Juureväline väetamine

Pihustite valikul vedelväetiste pritsimiseks tuleks lähtuda järgmistest põhireeglitest: 1) mida tugevam vahakiht taimele on, seda enam taluvad taimed vedelväetiste pritsimist lehvikipihustitega; 2) mida hilisem on taime kasvufaas, seda tundlikumad on taimed lehvikipihustite ja ka vedelväetiste pihustite kasutamise suhtes; 3) mida tundlikumad taimed on, seda taimi säästvam peaks olema väetamisviis, nende järjestus võiks olla selline: lehvikipihustid >> vedelväetiste pihustid >> ripp-kihustid.

Hilisemal väetamisel kasutatakse mitmeavalisi pihusteid, millest vedelik väljub jugadena. See aitab väetise kontaktpinda taimedega vähendada. Maapinnalähedaseks vedelväetiste andmiseks sobivad paremini poomile torude või voolikutega kinnitatud ripp-kihustid. Kuna vedelväetisi pritsitakse enamasti suurema normiga kui taimekaitsevahendeid, siis on selleks vaja ka suurema läbilaskevõimega pihusteid.

Pihustite tootjad pakuvad vedelväetiste pritsimiseks taimekaitsepritsiga mitmeid erinevaid tehnilisi lahendusi.

Vedelväetiste korral peaks kasutama plastikust või keraamilisi pihusteid. UAN korrodeerib pehmemaad (ja katteta) teraseid ning värvilisi metalle, ka tsiingitud või anodeeritud pindasid. UAN-ga võivad otse kokku puutuda kunstmaterjalid, roostevaba teras ja vastupidava kattega teras.

Pritsimisnormile sobiva töökiiruse, pihusti suuruse ja rõhu määramiseks kasutatakse spetsiaalset UAN-i jaoks pi-

hustitootjate poolt koostatud tabelleid. Madalamate temperatuuride korral kipub UAN-i rõhk manomeetri ja poomi vahel vedeliku suurema viskoossuse tõttu tavalisest enam langema. Selleks, et näiteks arvutada pritsist väljuva puhta UAN-28 mahuline kogus, korrutatakse vee puhul kasutatavat väärtust 0,88-ga, UAN on suurema viskoossusega kui vesi. Ka vee puhul kasutatava töörohu korrutamine UAN-i erimassiga annab õige töörohu. Näiteks: pritsimisrõhk 1,5 baari (vee puhul) x 1,28 (UAN-28 erimass) = 1,9 baari puhtale UAN-le. Kui UAN on segatud veega, tuleb 1 liitri segu erimassi leidmiseks seda kaaluda või arvutada suhtearvude järgi.

UAN suurema viskoossuse tõttu tuleb jaheda ilma korral pritsi enne iga tööle asumist seadistada.

Pihustitootja Lechleri pihustid ID, IDN, IDK ja IDKN sobivad nii vedelväetise puhtana kui ka taimekaitsevahendite või mikroelementidega segatuna pritsimiseks. Kõik standard-, antitriivi-, turbo- ja injektorpihustid (ID) on teraviljade pritsimisel kasutatavad kuni kasvufaasini 37.

FL ja FD pihustid (tabel 3.2) on spetsiaalsed ehk vedelväetamise pihustid. Nende konstrueerimisel on silmas peetud just taimede säästmist ja triivi minimeerimist. FL pihustist väljub väetis mitme horisontaalse joana. Mitmeavalistel (avade arv varieerub 3–7, sõltuvalt tootjast ja tüübist) pihustitel on üldiselt tilgad seda suuremad, mida vähem on avasid, sest avade läbimõõt on sama laotamisjõudluse tagamiseks suurem. Oluline on avade küllaldane arv pihustis, et ka madala rõhu korral piisavalt suurte tilkadega laotada. Laotamisühtlikkus on sel juhul aga väiksem ja seega on suurem oht põllul triipude tekkeks erineva toitainetega varustatuse tõttu.


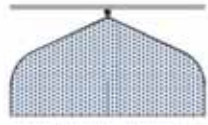

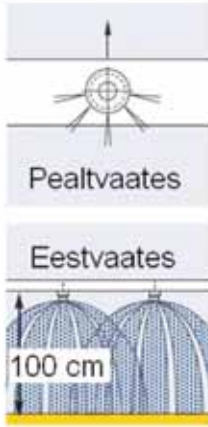



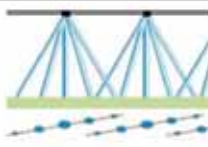

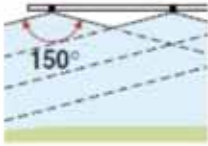


Laotamisnormi ja piiskade suuruse muutmise üks võimalus on kasutada pihustites erineva avasuurusega drosselseibe (vt tabel 3.2).

FD pihustid on võrreldes mitmeavaliste FL pihustitega vähem ummistumisaltid. Tilgad on eriti suured ja seetõttu taimiku põletamisoht väiksem. Viltusest pilust peaaegu rõhtsalt väljuva lehvikiphuse jaotumus on ühtlasem – seega ka oht põllule ebaühtlikkus-triipude tekkeks väiksem (Lechler, 2011).

VarioSelect on kahest või neljast pihustist koosnev pihustite süsteem, mis on eriti sobiv asukohapõhiseks väetamiseks, mispuhul laotamisnormi on vaja muuta pritsimise ajal. Vajalik laotamisnorm määratakse reaajas lähtuvalt taimiku biomassi ja roheline mõõtmise tulemustest. Võimalik reguleerimisvahemik on näiteks UAN puhul 60–620 l/ha. Vajalik väetamisnorm saavutatakse arvuti poolt pihustite sisse/väljalülitamise ja pritsimisrõhu varieerimise abil.

Taimede põletusohu minimeerimiseks tuleks pritsida võimalikult madala rõhuga, suure avaga pihustitega ja suurte tilkadega.

Tabel 3.2 Erinevate tootjate pihusteid vedelväetistega väetamiseks

Pihusti tüüp	Pihusti pilt ja tootja	Pihuse/joa kuju
Lehvikipihusti FD	 Lechler	
Drosselseibiga viiejoaline pihusti FL a	 Lechler	
Ühejoaline pihusti	 TeeJet	
Viiejoaline pihusti	 Hardi	
Mullipihusti	 Hardi	
Kuuejoaline pihusti	 Agrotop	

Taimekaitsepritside ja pihustite tootja Hardi pakub vedelväetiste ühtlaseks laotamiseks viieavalist pihustit, mille keskava on suurem ja äärmised avad väiksemad (tabel 3.2). Samas tabelis toodud ühejoapihustid annavad üksiku joa,

mispuhul taimede kokkupuude väetisega on väiksem. Eel- misega koos kasutatav on mullipihusti laiaks laotamiseks. Sellest pihustist väljub vedelväetis elastsete õhumullidena, mis põrkuvad lehtedelt vähendades selliselt taimede kokku- puudet vedelväetistega (Hardi, 2013).

Vedelväetamiseks on taimekaitsepritsi pihustite asemele võimalik kinnitada ka nireliistud (ingl k. *dribble bar*) (joonis 3.6). Võrreldes poomil asetsevate pihustitega ei sõltu pritsi- misühtlikkus poomi kõrgusest. Mõni tootja on kiivapöör- dumise takistamiseks liistud omavahel otstest ühendatud kummisikutitega (joonis 3.6a). Nireliistudega on võimalik annustada väikeste nirevahedega näiteks teraviljade või ro- humaade pealtväetamisel. Kompaktsed nired on tuulele vä- hetundlikud ja oht taimiku väetisega põletamiseks on väike. Võrreldes ripp-pihustitega ei ole takistusi taimiku, kivide jmt poolt. Samas, poomiga üle põõsaste sõites on võrreldes pihustitega suurem oht nireliiste vigastada.



a



b

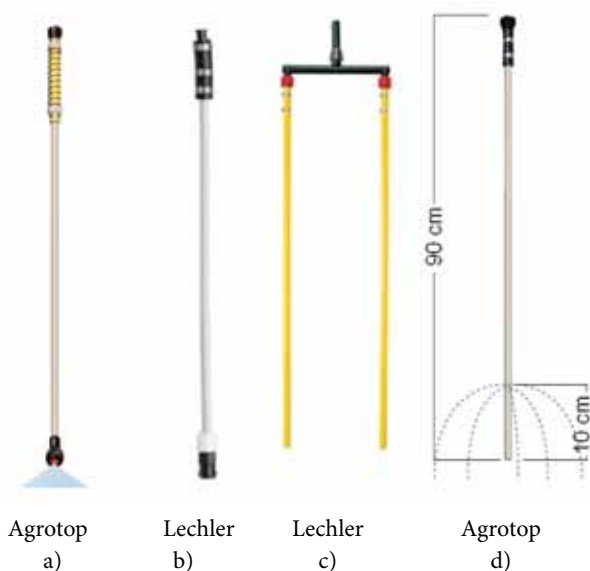
Joonis 3.6. Erinevate tootjate nireliistud taimiku väikese nirevahega väetamiseks, a) nireliistud on omavahel seotud kummisikutitega (Agrotech, 2012), b) mõne tootja nireliis- tul on võimalik laotamisnormi seadistada siibriga, milles on erineva suurusega avad (Chafer, 2013).

Nireliistude tootjad on välja töötanud mitmesuguseid lahendusi laotamisnormi seadmiseks. Enim aeganõudev on lahendus, millel peab drosselseibe vahetama. Puhtam ja kiirem on variant, kus laotamisnormi seadmine toimub nireliistul asuva avadega ketta pööramise teel (Hill, 2010). Toodetakse ka nireliiste, millel on võimalik valida 6 erineva ava vahel, nihutades nireliistul olevat siibrit (joonis 3.6b)

Täppisviljeluse tarbeks toodetakse nireliiste, mille lao- tamisnormi seadmine toimub rõhu muutmise teel poomi torustikus (Billericay, 2010). Näiteks Autostreameri nireliis- tude korral on võimalik laotamisnormi varieerida 0,6–6 l/ min, muutes rõhku vahemikus 1–3 baari. Nimelt on nende nireliistude konstantse läbilaskevõimega voolupiiraja asen- datud rõhutundliku klapi, milles olev kummiventil la- seb vedelikku läbi, kui rõhk ületab 1 baari ja avardub surve tõustes. Tänu sellele katkeb töökäigu lõpus kiiresti ka vede- liku vool nireliistudes ja pöördealade väetisega saastumine on väiksem. Soovitavalt peaks nireliistu iga väljalaskeava toitma oma vedelikujuha. See tagab ühtlase laotamise ka kalletel. Nireliistudel, mis on seest tühjad ja mille avad saa- vad toite ühisest kambrist, annustavad külgakalletel mada- lamatest avadest rohkem vedelikku kui ülemistest. Samuti tuleb külgakalletel taimeridade vahe väetamisel arvestada, et vedeliku nire ei lange risti maapinnaga.

Vedelväetiste andmine mullapinnale

Kultuuride hilises või tundlikus kasvufaasis, või tuulise ilmaga väetamiseks on sobivad ripp-pihustid (joonis 3.7). Ripp-pihustite kasutamisel puudub oht, et ülemised taime- osad põletada saaksid, ka on triiv väike.



Joonis 3.7. Erinevaid ripp-pihusteid vedelväetiste andmi- seks mullapinnale

Torude vahekaugus on 25 või 50 cm. See sobib vahelt- harimiskultuuride pritsimiseks juhul kui taimeridade vahe- kaugus on sama või kordne ripp-pihustite vahekaugusega

poomil. Torude eeliseks voolikutega võrreldes on, et nad ei tõuse nii kergesti taimiku peale, mis võib suurtel töökiirustel voolikute kasutamisel probleemiks olla. Torud peaks vähemalt 30 cm sügavusel taimikus olema. Murdumise kaitseks on torud poomile ühendatud painduva vahetüki abil. Pihustid on kinnitatud torude alumisse otsa. Voolikute korral kinnitatakse nende alaotsesse taimikus püsimiseks raskused. Toodetakse ka ripp-kihusteid, millel on kihustamisavad alumise osa külgedel ja alumine ots on suletud, et saavutada laiem väetisega kaetav riba (joonis 3.7 d). Ka ei ole väetamine takistatud juhul, kui vooliku ots vastu maapinda puutub. Võrreldes üksikvoolikutega on 25 cm vahega paarisvoolikuid (joonis 3.7 c) annustite sama vahekauguse juures võimalik kiiremini poomile ühendada.

Taimekaitsevahendi ja UAN-i segu korral tuleks kasutada lehvikpihusteid. Ripp-kihustid ja mitmeavalised kihustid sel juhul ei sobi.

Vedelväetiste muldaviimine

Seadmete valik vedelväetiste muldaviimiseks sõltub kultuurist - selle juuresüsteemist ja taimede vahekaugusest; väetamisajast, põllu asukohast ning ilmastikutingimustest.

Pesitiväetamine on väetise mulda viimine kontsentreeritud punktportsjonitena, mille tulemusel tekkivad mulda väetisepesad. Muldaviimine toimub enamasti torkeseadiste abil.

Vedelväetisi saab mulda viia kodarväeturiga CULTAN (ingl k: *Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition* – kontrollitud omastamine pikaajalisel ammooniumiga toitmisel) (joonis 3.8). Sellist seadet kasutatakse põhiliselt ammoniaagivee muldaviimiseks otsekülvil.

Väetamisel pumbatakse vedelväetis torustiku kaudu paagist kodarväeturi rataste õdnestelgedesse (igal rattal on oma telg). Väeturi liikumisel rattad veerevad mööda maad. Rataste telgede alumistes külgedes on avad, millest väetis surutakse torukodaratesse, kui nende ülaotsad sealt mööduvad. Edasi surutakse vedelväetis kodarate välisotstes olevate kihustite külgevade kaudu iga 16 cm järel mulda. Rataste vahekaugus on 25 cm, väeturite töölaius on vahemikus 4,5–12 m. Väetamismäär võib varieeruda vahemikus 50–3000 l/ha. Olemas on ka teraviljakülvikuid, mis samal põhimõttel võimaldavad vedelväetist anda seemneridade vahele või alla.

Väetis kihustatakse mulda taimede juurte lähedusse kontsentreeritud pesadena. See võimaldab ammoniaagivees olevat lämmastikku paremini ära kasutada ja vähendada lämmastikukadu denitrifitseerumise või ammoniaagi lendumise tõttu (Weimar, 2011). Võrreldes lõhesseväetamisega liigutatakse mulda vähem ja ei ärgitata umbrohuseemneid tärkama. Samuti on pesitiväetamisel veojõutarve haarde-laiuse ühiku kohta väiksem ja põldu katvad taimejäänused ei ummista laotamisseadiseid.

Kodarväetur võimaldab saavutada head väetamisüht-

likkust ja on vähetundlik ilmastikutingimuste kuid tundlik kivide suhtes.

Saksamaal pakuvad mõned firmad teenust selle seadme-ga põldude ja rohumaade paikväetamiseks, kusjuures väetisena kasutatakse vedelat ammooniumsulfaati .

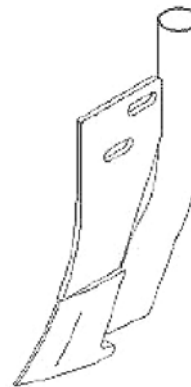
Selle väetamisemeetodi plussid on (Land & Forst, 2008):

- täpne annustamine, kui kasutatakse roolimisabasteid (vt ka ptk 10);
- efektiivne lämmastiku kasutamine (> 90%), kuna väetis paigutatakse taime juurte lähedale ja lendumine on minimaalne;
- minimaalne leostumine, kuna ammooniumlämmastik on mullas püsiv (eriti oluline nitraaditundlikel aladel);
- taimede lämmastikutarve saab hästi rahuldada ja kuival ajal on taimed vähem stressis.



Joonis 3.8. Vedelväetiste kodarväetur (Tamm, K.)

Lõhesseväetamisel viiakse vedelaid ammooniumväetisi mulda lõhet löikava mullaharimisseadise järel. Üks levinud võte on viia ammoniaagiveesi pinnasesse nugapii tagaservale kinnitatud kihustiga (joonis 3.9). Nugapiid võivad asetseda ka vedruvannastel (joonis 3.10) ja noa eel võib olla löikeketas taimejäänuste tükeldamiseks ning lõhe löikamiseks maapinda. Eelkirjeldatud seade sobib kitsarealistele kultuuridele ja kivivabadele muldadele.



Joonis 3.9. Nugapii koos vedelväetise kihustiga (Redball, 2011)



Joonis 3.10. Vedruvandal nugapii vedelväetiste muldaviimiseks (Agrodan, 2011)

Muldaviimine koos sügavkobestamise ja külviaga. Seda saab teha, kui sügavkobestile on paigaldatud peensemnekülvik ja paak koos seadmestikuga külviaegseks vedelväetamiseks (joonis 3.11). Vedelväetis pritsitakse kobestuspeitli vanda ette mullale seemnetega samasse ribasse. Kobesti vana segab väetise mullaga ja seega vähendatakse seemnete kõrvetamise ohtu. Rapsiseemned külvatakse ribana kobestile järgneva tähikketastega rulli ette. Laotamisseadmel on pump nii paagi täitmiseks kui paagis segamiseks ja väetise mulda viimiseks. Sama paak ja annustussüsteem on paigaldatav ka teistele mullaharimismasinale. Vedelväetise paagi saab paigutada kas traktori või mullaharimismasina esiosale (Graematic, 2011).

Eelkirjeldatud seadme eelised võrreldes tahket väetist kasutavate analoogidega:

- vedelväetist on lihtsam paaki pumbata kui tahket väetist kottidest kasti laadida, samuti on paagi täitmise aeg lühem;
- kuna vedelväetis on kontsentreeritud, siis on ühe paagitäiega võimalik töödelda suuremat ala ja laadimiskordade arv on väiksem.



Joonis 3.11. Vedelväetamine koos sügavkobestamise ja rapsi külviaga (Graematic, 2011)

Taimeridade vahele vedelväetist laotavad seadmed Rühvelkultuuride (näiteks maisi) väetamiseks võib kasutada muldapihustamist ridade vahele, üks selleks otstarbeks mõeldud seade on esitatud joonisel 3.12.



Joonis 3.12. Lainelise servaga ketas mullariba kobestamiseks, selle järel on pihusti ja tugiratas (Dawn, 2011)

Pihusti eel olev lainelise servaga ketas kobestab mullariba, kuhu pihustatakse vedelväetist. Väetisepiisad tungivad pihustamissurve toimel mulda kuni 10 cm sügavusele, seal on toiteainete lendumine väiksem. Seade ei ole nii kivitundlik kui kodarväetis. Tööseadiste vahe on 65–120 cm. Pihustitest väljub väetis survega 3–7 baari.

Alternatiivne variant on kasutada löikeketta järel nugapiid, mille tagaküljel olevast pihustist surutakse väetis kuni 10 cm sügavusele. See meetod võimaldab vedelväetise paigutada täpselt õigele sügavusele, kusjuures põllupinda segatakse minimaalselt. Pihusteid on võimalik ükshaaval aktiveerida, et ülekatteid vähendada ja seade on seega kasutatav ka täppisviljeluses (BlueJet, 2011).

Toodetakse ka varianti, kus ketasnoa eel on paar kaldset tähikketast mulla kobestamiseks ja pihustiga nugapii järel üks kaldne tähikketas mulla ja väetise segamiseks. Neid laotureid saab kasutada ka ribasharivate põldude väetamisel.

Väetisepaagid

Vedelate mineraalväetiste laoturitele toodetakse väga erineva suuruse ja kujuga paake.

Laotamisseadme vedelväetisega varustamiseks kasutatakse ka eraldi paakhaagiseid, mis on haagitud väetiselaoturi järele. Neil kasutatavate mahutite suurused on näiteks 8, 10, 15, 20 ja 25 m³. Paakidel on tühjendamiseks ja täitmiseks pumbad. Haagisel võib olla üks või mitu paaki (Liquidsystems, 2011).

Mitme paagiga süsteemid võimaldavad erinevaid väetisi (näiteks lämmastikväetist ja fosforväetist) annustada asukohapõhiselt (joonis 3.13).



Joonis 3.13. Töökäigule kaasavõetava vedelväetise koguse suurendamiseks kasutatakse ka esi- ja külgmahuteid (Redball, 2011)

3.4.6 LAOTURITE PUHASTAMINE

Võimalusel tuleks vedelväetiselaoturid ja pritsid pesta puhtaks samal põllul, kuhu väetist laotati ja kindlasti veekogudest/kaevudest ohutus kauguses. Kui seadmeid puhastatakse spetsiaalsel laadimise/segamise platsil, siis tuleb kogutud loputusvett käidelda kui lahjat väetamislahust. Toiteainete sisaldus selles vedelikus on siiski piisavalt kõrge, et reostada nii pinna- kui põhjavett, kuid ka piisavalt madal, et järgmist väetamiste ajal kasutada kontsentraadi lahjendajana ilma, et toiteainete kontsentratsioon väetamislahuses saaks olulisel määral mõjutatud (Hodges, 2004).

Pritsi puhastusplats peab olema selline, et sealt ei toimuks veejuhtmete ega veekogude reostamist, ja sinna ei pääseks ligi loomad ega lapsed.

Pritsi puhastamiseks tuleb loputada prits koheselt pärast töö lõpetamist nii seest kui väljast vältimaks kemikaali jääkide kuivamist pritsi süsteemidesse - ka siis, kui sama kemikaaliga plaanitakse pritsida ka järgmisel päeval. Kinni kuivanud kontsentraat võib jätta paaki tükke või kihi, mida on hiljem väga raske eemaldada. Seega vältimaks filtrite, pumba ja pihustite ummistusi on otstarbekas lasta esimene loputusvesi läbi paagi tühjendusava välja.

Eriti hoolikalt tuleb pritsi puhastada kemikaalide vahetamisel. Soovitav on lugeda pritsi enda puhastamise juhendit. Pesta prits alljärgnevalt:

1. Tühjenda prits täielikult põllul. Kui pritsimise lõpetamisel on paagis pritsimislahust, tuleb see lahustada 10 osa puhta veega ja pritsida põllule. Pritsi edasine puhastamine toimub pesemiskohas.
2. Täida pritsi paak pesemiskohas 10–15% mahus puhta veega. Vett pihustada läbi voolikute ja pihustite mõne minuti jooksul.

3. Loputada paak, jaotustoru ja voolikud puhta veega, segades 5 minutit ja tühjendada prits läbi pihustite. Jälgida tuleb, et pesu- ja loputusvesi ei kahjustaks tundlikke taimi ega saastaks pinna- ja põhjavett.

4. Võta ära pihustid ja filtrid ning loputada need puhta sooja veega veel eraldi.

Veenduda, et torustikuarmatuur, filtrid, pihustid jt sõlmed ei ole kinni kleepunud.

Seadmete remontimisel tuleb meeles pidada, et kui vedelväetisena kasutati UAN-i, siis selle jääkidest vee aurumisel moodustuvad paagi ning muude detailide sisse ja peale soolad. Tekib puhas ammooniumnitraat ja karbamiid, mis on plahvatusohtlikud, eriti juhul, kui ületatakse kriitiline temperatuur. Seda tuleb silmas pidada sellistel remonditöödel nagu näiteks keevitamisel, lihvimisel või viilimisel. Enne neid töid tuleb seadmete paagid ja teised remonditavad detailid korralikult veega ära pesta, kuna need soolad on vesilahustuvad (Amazone, 2011).

Enne tööleasumist kontrollida paagi puhtust, torude, pihustite ja pritsi korrasolekut. Prits peab olema kinnitatud korralikult traktori külge. Kontrollida, et ei oleks lekkeid segamise, transpordi ja pritsimise vältel.

Kui on märgata pestitsiidide jääke (kiht/sete), tuleb prits enne kasutamist hoolikalt läbi pesta vastavalt viimase kasutatud preparaadi pesemisjuhenditele.

Põhilise osa preparaatidest saab eemaldada puhastades ammoniaagi vesilahusega (1 liiter 3% ammoniaaki 100 l vee kohta) või spetsiaalsete puhastusainetega.

3.5 AMMONIAAGIGA VÄETAMINE

3.5.1 ÜLEVAADE AMMONIAAGI OMADUSTEST

Ammoniaak (NH_3) on terava ärritava (nuuskpiirituse) lõhnaga, värvuseta, sööbiv, õhust kergem gaas (suhteline tihedus õhu suhtes 0,6). Vedel ammoniaak on värvuseta, tugevasti lõhnava ja väga lenduv vedelik. Atmosfääri pihkumisel moodustab gaas külma valge udupilve, mis teatud tingimustes püsib maapinnal. Kõrge õhuniiskus ja madal temperatuur hoiavad ammoniaagi maapinna läheduses. Soojenedes tõuseb gaasipilv üles. Vedela ammoniaagi tihedus on keemistemperatuuril ($-33,4\text{ °C}$) $0,68\text{ kg/l}$, temperatuuril 15 °C aga $0,62\text{ kg/l}$ (Ammonia - NH_3 - Properties, 2011). Tal on kõrge aururõhk – 20 °C juures $8,6$ baari ja 40 °C juures $15,5$ baari (TTVK, 1996).

Ammoniaak on kõige kontsentreeritum lämmastikväetis (N - 82,3%). See on taimedele kohe omastatav, agronoomiliselt efektiivsuselt on ta võrdne tahkete lämmastikväetistega. Sobib hästi teraviljade ja rühvelkultuuride väetamiseks. Rohumaade väetamisel on kamara kahjustuse tõttu vedela ammoniaagi efektiivsus olnud 50–70% tahkete lämmastik-

väetiste omast. Kõrge kontsentratsiooniga ammoniaak piirdub bakterite tegevust ja nitrifitseerumine on takistatud. Kui ammoniaak viia piisavalt sügavale ja mullaniiskus on optimaalne, siis on ammoniaagi lenduvus oluliselt takistatud. Sellisel kujul on lämmastik küllaltki kaua mullas püsiv. Ammoniaagi (NH_3) ja vee kokkupuutel tekib ammoonium (NH_4^+). Ammooniumi leostumine on takistatud kuna seotakse savi ja orgaaniliste osakeste poolt (sarnaselt kui raud tõmbab magnetit enda külge).

Aastal 2004 kasutati 83% maailmas toodetud ammoniaagist väetise tootmiseks. Puhta ammoniaagiga väetamist praktiseeritakse laialdaselt Ameerika Ühendriikides ja Austraalias. Seal on ka palju arendustööd tehtud ammoniaagi ohutuks ja efektiivseks kasutamiseks põllumajanduses. Samas otsitakse võimalusi ammoniaagi odavamaks tootmiseks. Peamiselt on seni kasutatud ammoniaagi tootmiseks maagaasi. Praegu käivad uuringud, et toota ammoniaagi valmistamiseks vajalikku puhast vesinikku tuuleenergia abil tuulistes kohtades ja ajal kus/mil elektrienergia tarve on madal.

Ammoniaak kuulub ohtlike ainete hulka. Vedela ammoniaagiga töötajad peavad läbima eriväljaõppe, täpselt peab täitma tööohutuse nõudeid. Ammoniaagi käitlemisel tuleb tutvuda selle ohutuskaardiga (AGA, 2011; Päästeamet, 2011).

See aine on mürgine - põhjustab raskeid kahjustusi hingamisteedele ja kopsukudedele, võib tekkida kopsuturse, kõrge sisaldus õhus võib põhjustada äkksurma. Kahjustab silmi ja nahka. Kokkupuude veeldatud ammoniaagiga põhjustab külmapõletusi. Pihkamisel moodustab ärritava toimega külma udu, mis on õhust raskem ja püsib maapinna lähedal, soojenedes tõuseb gaasipilvena üles.

Näiteks 30%-lise ammoniaagi pH on 13,5. Seetõttu põhjustab ammoniaak ka leeliselist nahapõletust.

Seadusandluses on määratud kontsentratsioonitase, mille korral ammoniaak on tervisele ohtlik (Kemikaalide kontsentratsioonid ..., 2011):

LC50 (30 min)	- 10347 ppm
AEGL-3 (30 min)	- 1600 ppm
IDLH	- 300 ppm.

Ammoniaagi lõhn on tajutav alates 5–53 ppm sõltuvalt indiviidist (CAEGL, 2007).

ppm (*part per million*, ingl k.) on kontsentratsiooni mõõtühik - miljondikosa. Tegu on dimensioonita ehk suhtelist vahetorda iseloomustava ühikuga. Enamasti kasutatakse seda kontsentratsiooni mõõtühikuna vedelikes või gaasisegudes. Näiteks kui õhus on ammoniaaki 1600 ppm, siis on seda seal 0,16%.

LC50 (30 min) - (*Lethal concentration 50%*) kemikaali kontsentratsioon, mis põhjustab 30-minutilise kokkupuute jooksul hinnanguliselt 50% kaitsmata isikute hukkumise;

AEGL-3 (30 min) - (*Acute Exposure Guideline Level*) kemikaali minimaalne kontsentratsioon, mis võib põhjustada kaitsmata isiku eluohtlikke tervisekahjustusi või hukkumist;

IDLH - (*Immediately Dangerous to Life or Health*) suurim kemikaali kontsentratsioon, mis 30 minuti jooksul ei tekita tervele inimesele pöördumatuid tervisekahjustusi ega takista inimese evakueerumist. (Riskianalüüsi ..., 2011)

Ammoniaak korrodeerib tugevalt vaske, pronksi, tsinki ja mõningaid teisi metalle, mistõttu peab selge olema, milliseid metalle tohib ammoniaagi käitlemisel kasutada. Sobiv on näiteks süsinikteras (R.M Technologies, 2011).

Ammoniaagi kokkupuutel niiskusega tekib ammooniumhüdrosiid, mis on eksotermiline protsess st selle käigus eraldub soojust.

Ammoniaagi isesüttimistemperatuur on 651 °C. Tal puudub leekpunkt, kuid ta on plahvatusohtlik, kui õhus on seda gaasi 15–28% (Päästeamet, 2011). Kui välistingimustes on plahvatusoht üldiselt väike, siis ruumides on see märkimisväärne. Leekpunkt on vedeliku temperatuur, mille juures tema aurud kokkupuutes lahtise tulega süttivad.

Ammoniaagi tulekahju kustutusvesi põhjustab õhu ja pinnase saastumist.

Kuna vedelat ammoniaaki kasutatakse ka metaamfetaamiini valmistamisel, siis peavad põllumehed arvestama ammoniaagi ja käitlemissaadmete varguse kõrgendatud ohuga.

3.5.2 KASUTAMISE EELISED JA PUUDUSED

Ammoniaagi eelisteks on:

- suur lämmastikusisaldus (82%) ja seega madal käideldava väetise füüsiline kogus lämmastikuühiku kohta;
- võimalus väetada varakult enne külvi, isegi sügisel kui muu lämmastikväetise kasutamine ei ole vastuvõetav lämmastikukao suure riski tõttu;
- see on ammoniaagitootja läheduses sageli kõige odavam lämmastikväetis.

Puudusteks on:

- ammoniaagi kui gaasi veeldatuna hoidmiseks on vaja spetsiaalseid hoidlaid ning transpordiks ja annustamiseks eriseadmeid;
- väetamine võib olla ajakulukam kui teiste lämmastikväetiste korral, eriti jahedate ilmade korral ja juhul, kui pihustamiseks kasutatakse ammoniaagi enda aururõhku,
- oht inimese tervisele, kui ammoniaaki ei kasutata õigesti.

3.5.3 AGRONOOMILISED TAHUD

Sobivaim mullaniiskus ammoniaagiga väetamisel (Fernández, 2011). Pärast muldaviimist reageerib ammoniaak kiiresti orgaanilise ainega, saviosakestega, vabade ve-

sinikuioonidega ja mis peamine - mulla veega, mis hoiab ära ammoniaagi lendumise. Teisteks teguriteks mis mõjutavad peetustsooni (piirkond mullas, kuhu ammoniaak jääb pidama) suurust ja kuju, on väetamisnorm, -seade ja -meetod. Enamasti on selle ovaalse kujuga tsooni läbimõõt 5–12 cm.

Ammoniaagi kadu annustamise ajal mõjutavad peamiselt mulla niiskus ja pihustamissügavus. Optimaalseks mulla niiskuseks loetakse 15–20%. Kui muld on liiga kuiv, siis ammoniaak levib mullas liiga ulatuslikult, enne kui ta reageerib mulla veega. Liiga niiske mulla korral jäävad sisestuspüstidest pinnasesse püstpilud, mille kaudu ammoniaak pääseb maapinnale. Kui muld on optimaalsest ainult mõnevõrra kuivem või märjem, on abiks suurem pihustamissügavus. Piisav sügavus ideaalse niiskuse korral on 15 cm peene tekstuoriga ja 20 cm jämedama tekstuoriga (liivasel) mullal. Märjal mullal ei ole pihustussügavuse suurendamine alati piisavalt tõhus. Soovitatakse kasutada ka seadet, mis pihusti järel pilu sulgeks. Kui pärast väetamist on tunda põllul ammoniaagi lõhna, on selge, et ammoniaak lendub mullast õhku.

Ammoniaagiga väetamise ja muude tööde vastasmõjud.

Mullaharimise ooteaeg pärast ammoniaagi mulda viimist sõltub väetise muldaviimise sügavusest ja mulla-omadustest. Ideaalsete mullaomaduste ja normaalse pihustussügavuse korral võib mulda harida kohe pärast ammoniaagi mulda viimist. Mõningatel juhtudel aitab pindaharimine kinni ajada pihustuspüstidest jäänud pilud mullas. Ammoniaagist (NH_3) ammooniumiks (NH_4) ülemineku reaktsioon toimub mullas kiiresti ja sügav harimine, mis lõhuks ammoniaagi peetustsooni, ei ole enam probleem, kui seda tehakse mõni päev peale väetamist. Kui mullaharimisel on siiski tunda ammoniaagi lõhna, siis peaks sellega veel paar päeva ootama.

Uuringud on näidanud, et pikemaajaline ammoniaagi kasutamine ei põhjusta mulla tihenemist ei künnikihis ega selle all. Samuti ei põhjusta ammoniaak orgaanilise aine vähenemist mullas.

3.5.4 AMMONIAAGI KÄITLUSTEHNOLOOGIA

Ammoniaagiga väetamisel on kohene piisavalt sügavale mulda sisestamine just eriti oluline selle ühendi suhteliselt kõrge aururõhu tõttu. Lämmastikukadude vältimiseks tuleb ammoniaak mulda viia vähemalt 12–16 cm sügavusele, kergemel muldadel aga isegi 16–20 cm sügavusele (TTVK, 1996). Ammoniaagi käitlemisel tuleb kogu ahela ulatuses rangete ohutusnõuete tagamiseks kasutada eriseadmeid ja igal käitlusetalpil kindlasti lähtuda ohutusnõuetest.

Ammoniaagiga väetamise tehnoloogilised etapid on

- 1) hoiustamine selleks õigust omava ammoniaagikäitleja hoidlas;
- 2) pumpamine hoidlast ammoniaagi veoks sobiva eriveoki paaki;
- 3) vedu ettevõtte põllule selleks erioigust omava ammoniaagikäitleja poolt;

- 4) pumpamine veoki paagist põllu serval ammoniaagiväeturi haakes oleva spetsiaalse paakhaagise paaki;
- 5) laotamine ammoniaagiväeturi.

3.5.5 AMMONIAAGI TRANSPORT

Ammoniaagi transportimiseks pikkade vahemaade taha ja suures koguses kasutatakse spetsiaalseid tsisternvaguneid, paakautosid või paakhaagisega sadulveokeid. Kasutatakse ka torujuhtmeid ja pargaseid.

Ammoniaaki transporditakse põllule ja veetakse laoturi järel eraldi haagisel spetsiaalpaakides, mis aitavad tagada ammoniaagi ohutu kasutamise (AgSystems, 2011) (joonis 3.14). Ammoniaagi paakhaagisel on üks või enam rõhstat silindrilist sfääriliste otstega paaki.



Joonis 3.14. Ammoniaagiväeturi ja selle haakes ammoniaagipaaki (AgSystems, 2011)

Kirjanduse andmeil varieeruvad põllul kasutatavate paakide mahud piires 3,8–7,6 m³ (teisendatuna gallonitest kuupmeetriteks). Ühel haagisel võib kõrvuti asuda ka kaks või kolm 3,8 m³ paaki (Duo Lift, 2011). Paak peab vastama ammoniaagi käitlemise nõuetele.

Kogu süsteem peab taluma vähemalt 17 baarilist rõhku. Ammoniaagi ohutuks käitlemiseks peab paak olema varustatud kraanidega paagi täitmiseks ja tühjendamiseks, klapidega süsteemis rõhu kontrolli all hoidmiseks, manomeetri ja tasemenäidikuga (Nowatzki, 2011). Paak peab olema värvitud valgeks või hõbedaseks, et vähendada soojuskiirguse mõju ammoniaagi rõhule. Paagid peavad olema tähistatud nii, et oleks selgelt mõistetav, et tegemist on ammoniaagipaakidega. Nad peavad olema märgistatud ka ohupiktogrammidega vastavalt ammoniaagi ohutuskardile (AGA, 2011).

Tagada tuleb, et väeturijuht on teadlik koorma võimalkust ohust ning teab mida õnnetuse või hädaolukorra korral ette võtta.

Enne paagi transporti tuleks tagada, et :

- paak on korralikult kinnitatud;
- paagi kraan on suletud ja ei leki;

- kraani kaitsekupli mutter (kui on olemas) on kinnitatud;
- kraani kaitseseade (kui see on olemas) on kinnitatud.

Paake tohib täita üldiselt kuni 85% mahust, et jätta ammoniaagile kahanemis- ja paisumisvõimalus temperatuurimuutuste korral. Üle lubatud piiri täidetud paagid võivad suure hüdrostaatilise rõhu tõttu lõhkeda. Ammoniaagi edastamiseks kasutatavad voolikud peavad olema selleks sobivad (Shutske, 2005).

Rõhk paagis ei sõltu sellest, kui palju ammoniaaki paagis on, vaid temperatuurist. Olgu paak maksimummahust täidetud 50 või 5% ulatuses, mõlemal juhul on seal sama rõhk (TransCAER, 2011). Madalal temperatuuril võib manomeetri näit olla nullis, kuigi paak ei ole tühi. Ammoniaagi olemasolu paagis või torustikus on sageli näha härmalise või kondensvee järgi seadmete välisküljel.

3.5.6 AMMONIAAGI MULDA VIIMINE

Ammoniaagiväeturi koosneb dosaatorist, mõõdikute ja voolikutega varustatud muldaviimisseadmetest ja järele haagitatud ammoniaagi survepaagist.

Ammoniaagi annustamine toimub avadosaatori või kolbpumbaga. Avadosaatori puhul sõltub väetamisnorm liikumiskiirusest, haardelaiusest ja dosaatori ava suuruselt. Kolbpumba paneb aga tööle surveratas, mis saab ajami väeturi rattalt. Väetamisnorm, mida reguleeritakse kolvi käigupikkusega, on seega agregaadil liikumiskiirusest sõltumatu (UNIDO, 1998).

Ammoniaagi jaotamine pihustitesse. Ammoniaak liigub oma aururõhu toimele paagist torustiku ja pihustite kaudu mulda. Soojal kevadpäeval, kui ammoniaagi temperatuur on 20 °C, on rõhk paagis 7,9 baari (Leopold Center, 2001).

Teel paagist mulda rõhk langeb ja ammoniaak hakkab keema. Vedelik aurustub osaliselt, selleks vajalik energia võetakse ammoniaagist endast. Jaotur on antud tingimustel rõhk 2,4 baari ja temperatuur -7 °C. Seal on 10% ammoniaagi massist aurustunud. Kuna neil tingimustel on gaasilise ammoniaagi ruumala vedelast 240 korda suurem, siis enamus torustikust on täidetud gaasilise ammoniaagiga (pihustist väljunud, atmosfäärirõhul oleva aurustunud ammoniaagi ruumala on võrreldes vedelaga 800 korda suurem). See võib põhjustada jaoturil ebahühtlast ammoniaagivoolu ja seega annustamise ebahühtlikkust. Vedel ammoniaak ainult niriseb torustikus, kuigi moodustab massist tervelt 90%. See aga tuleks jaoturi väljumisavade vahel võrdselt ära jagada.

Võrdse jaotumuse saavutamiseks kasutatakse mitmeid võtteid.

1. Jaoturit ja pihusteid ühendavate voolikutete pikkus ja läbimõõt peavad olema võrdsed, et voolutakistused voolikutel oleks võrdsed. Katsed on näidanud, et 4 m vooliku voolutakistus on 10% suurem kui 2 m pikkusel. Üldiselt voolutakistus kasvab 1–2% vooliku pikkuse iga 30 cm kohta. Kui kasutada voolutakisteid jaoturi voolikututsides, siis vooliku

pikkusest tingitud erinevused vähenevad. Jaoturile lähemal olevate annustite voolikud tuleb osaliselt rõngasse kerida ja laoturi raamile kinnitada. Oluline on, et keerud oleksid horisontaalselt paigaldatud, et nende põhja ei tekiks ammoniaagilompe, mis jällegi annustamise ebahühtlikkust suurendavad.

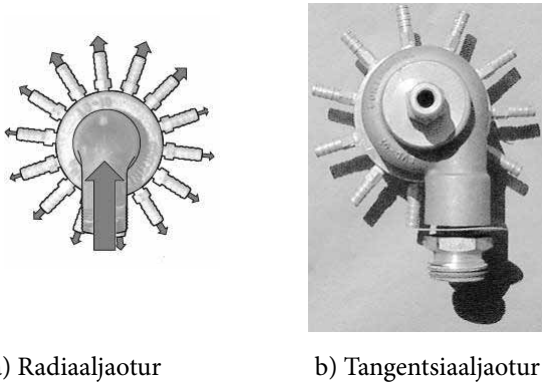
2. Ammoniaagiväeturi radiaaljaoturil on erineva vooluhulgaga piirkonnad (joonis 3.15a). Ammoniaagi kogus pihustites võib erineda 24 korda. Jaotur peab asetsema horisontaalselt, vastasel korral läheb kõrgemal asetsevatesse avadesse peamiselt gaas ja alumistesse vedelik. See asjaolu põhjustab ka kallakutel pihustitevahelist ebahühtlikkust. Kui ammoniaagi sisendiks jaoturisse on 90° torupõlv, siis avad, mis asuvad põlve välisserva juures saavad suurima vooluhulga, põlve siseserva juures olevad keskmise vooluhulga ja põlve külgedel väikseima vooluhulga. Seetõttu peaks külgnevate pihustite voolikud olema jaoturile ühendatud mitte külgnevalt vaid põhimõtte järgi, et kõrvuti asetsevad suure ja väikese vooluhulgaga annustid. Jaoturil tuleb suletud mittekasutatavad jaotusavad jaoturi perimeetril ühtlaselt ära jagada.

3. Jaoturisse siseneva ammoniaagi veeldamine jahutamise teel ja ammoniaagi vooluhulga ühtlikkuse kontrollimine võimaldab küll tagada võrdset hektaripõhist jaotumust, kuid siiski mitte pihustite vahel väetist võrdselt jaotada. Jahutist rõhulangetusklaapi kaudu jaoturisse pääsenud ammoniaak aurustub ja ebahühtlase jaotumuse probleem säilib. Sealjuures võib küllastunud ammoniaagiaur suunduda valimatult ühte või teise pihustisse põhjustades ebahühtlase varieerumise ammoniaagilaoturi töölauses.

Jaoturi teine variant on tangentsiaaljaotur (joonis 3.15b). Ammoniaak siseneb sellesse tangentsiaalselt. Raskem vedelik surutakse tsentrifugaaljõuga jaoturi keskmest eemale vastu külgele, kus on väljumisavad, gaas on kergem ja jääb jaoturi keskele. Põldkatsed näitavad, et väiksemate väetamisnormide (60–90 kgN/ha) korral annab tangentsiaaljaotur ühtlasema jaotumuse kui radiaaljaotur, suurematel normidel on tangentsiaaljaoturi jaotumus sama ühtlikkusega. Lisaks kasutatakse jaoturil avadega rõngast, mis aitab rõhku jaoturil tõsta, samas aga takistab suure normiga väetamist, seda eriti juhul, kui jaoturil olev rõhk on suurem kui 65% paagis olevast rõhust. Kui jaoturil läheb rõhk kõrgemaks, tuleb kasutada suuremate avadega rõngast.

On olemas ka lineaarsed jaoturid. Need on sirged torud, mille otsas asub sisend, väljumisavad asuvad ühtlase vahekaugusega toru küljel. Teine variant on nõ T - jaotur, kus sisend asub toru keskel küljel. Toru keskel sel juhul väljumisavasid ei ole. Katsed on näidanud, et lineaarsed jaoturid on väiksema jaotumusühtlikkusega kui radiaalsed (Boyd jt, 2003).

Radiaalsete jaoturite arendamist on pidevalt jätkatud ja uusimat tüüpi nüüdisaegsed radiaaljaoturid võimaldavad 84 kgN/ha normi korral ammoniaagi jaotumuse ebahühtlikkust alla 6%, samas kui tavajaoturitel on see ca 22%.

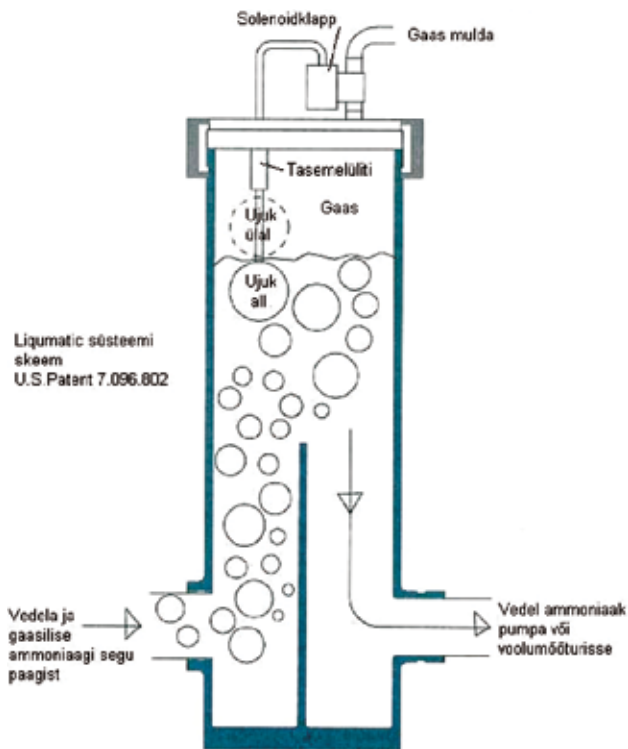


a) Radiaaljaotur

b) Tangentsiaaljaotur

Joonis 3.15. Ammoniaagiväeturi a) radiaaljaotur ja b) tangentsiaaljaotur (Leopold Center, 2001)

Ammoniaagi normi kontrollimiseks ja asukohapõhiselt väetamiseks on oluline, et see voolaks läbi voolumõõtja vedelal kujul. Ammoniaagivoolu vedelana hoidmiseks kasutatakse soojusvaheteid, et hoida ammoniaak allpool keemispunkti. Need on aga efektiivsed kuni vooluhulgani 1,5 l/s (Equaply, 2011). Suuremat vooluhulka võimaldab gaasiseparaator (joonis 3.16), mis eraldab vedeliku/gaasi segust vedeliku, mis suunatakse edasi vooluhulgamõõturisse. See seade lubab kasutada ka vooluhulka 5 l/s.



Joonis 3.16. Ammoniaagi vedeliku/gaasi segust gaasi eraldamiseks kasutatava gaasiseparaatori skeem (Equaply, 2011).

Märkida tuleb veel, et kuna ammoniaak surutakse paagist mulda ammoniaagi aururõhu toimel, siis rõhu suurust mõjutab välistemperatuur. Seega võib hilissügisel ja kevadel külma ilmaga juhtuda, et paagis on ammoniaagi rõhk madal ja väetada ei saa kuigi suure liikumiskiirusega. Sel juhul

kasutatakse voolikutes rõhu tõstmiseks tsentrifugaalpumpa (Equaply, 2011).

Ammoniaagi muldaviimisel on oluline ammoniaagi auru kinni hoidmine mullas. 0 °C juures moodustab aur ammoniaagi massist 10%, mahust aga 98%. Kui anda ammoniaagiga 90 kg lämmastikku hektarile kiirusega 11 km/h, siis vajalik annustusjõudlus on 7,5 l auru sekundis. Temperatuuril 27 °C on vajalik kogus juba 15 l/s (NH₃ Company, 2011). Pärast mulla väetamist ammoniaagiga tuleks mulda liigutada võimalikult vähe, et ammoniaagiaur maapinnale ei pääseks ja väetamise efektiivsus oleks võimalikult suur.

Ammoniaak sisestatakse mulda piidega, mille tagakülgedele on kinnitatud pihustustorud. Taimejäänustega kaetud põllul töötamisel on ummistuste vältimiseks piide ees lainelise servaga ketasnoad (joonis 3.17). Pihusti järel on kaldse asendiga sfäärilised sile- või säkservalised kettad, mis katavad pihujäljed mullaga. See on oluline just optimaalsemast (15–18%) niiskema mulla korral, kui löikepilu ise kinni ei vaju ja laseb mulda viidud ammoniaagi aurudel maapinnale tõusta.



Joonis 3.17. Ammoniaagi muldaviimise seade, liikumissuunaga vasakult paremale. Tagumise kettapaari ees on vedelväetise voolik (AgSystems, 2011)

Pihustile mullas teed rajava pii taga on pihustustoru, mille ülaotsale kinnitatakse ammoniaagivoolik ja alaotsas on ava(d), kust pihustatakse väetist pihujälje põhja. Mullaga ummistumise vältimiseks on toru alumine ots kinni surutud ja küljele puuritud ava(d) või on toru avatud ots suunatud tahapoole. Kasutatakse ka pihusteid, mille alumine ots on selle jäätumise takistamiseks nailonist pesas.

T-peitel (*mole knife* – ingl k „muttnuga“), mille ristlõige meenutab tagurpidi T-tähte (joonis 3.18a), mitte ainult ei suru mulda kahele küljele laiaili vaid kergitab selle ka üles. Ammoniaak pihustatakse peitli taha ja kergitatud muld variseb ammoniaagile peale, takistades ammoniaagiauru kerkimist pihujäljest maapinnale. T-peitel on kasutatav nii kuiva kui märja mulla korral, samuti rattajälgedel ja eriti sobiv ri-basharimisel. Puuduseks on aga suhteliselt suur veojõutarve ja mulla segamine.

Nugapiidega (joonis 3.18b) ammoniagiväeturit on võimalik kasutada oludes, kus muld on sobiva niiskusega. Liigniiskes mullas kasutamiseks see ei sobi, kuna noatee jääb lahti ja ammoniagiaur pääseb sealt maapinnale. Seadme veojõutarve ja mulla segamine on väike võrreldes teiste teradega. Samuti ei ummistu see nii kergesti taimejäänustega.

Kultivaatori vedrupiidele kinnitatavad pihustiga varustatud peitlid (joonisel 3.18c) võimaldavad aga kasutada kultivaatorit ka ammoniagilaoturina.

Ammoniagiväeturi töölaused varieeruvad vahemikus 6–19 m. Pihustite vahekaugused on enamasti kas 75 või 150 cm, st, et ammoniaki antakse vastavalt rühvelkultuuri kas igasse või igasse teise reavahesse.



a) T-peitel.



b) Nugapiid

c) Kultivaatori vedrupiile kinnitatav pihustiga peitel.

Joonis 3.18. Piid ammoniagipihustile tee rajamiseks (Nichols, 2013)

3.5.7 AMMONIAAGIVÄETURI VÄETUSNORMI JA -ÜHTLIKKUSE SEADMINE

Ammoniagiväeturi väetamisnormi seadmine. Ammoniagiväeturi pöõllule antud lämmastiku tegelik kogus võib kavandatud normist erineda 5%, st lubatav hälve on $\pm 5\%$. Tegelikult hektarile antavat lämmastikukogust saab ligikaudselt määrata järgmiselt (Schuler, 2005):

- 1) kaaluda ammoniagiväeturi paakhaagis koos selles oleva ammoniagiga;
- 2) põõllul väetada ammoniagiga teatud suurusega ala;
- 3) kaaluda ammoniagiväeturi paakhaagis koos järelejäänud ammoniagiga uuesti;

- 4) paakhaagise masside vahe jagada väetatud ala pindalaga, et leida ammoniagiga kogus hektarile;
- 5) hektarile antud lämmastiku koguse teadasaamiseks korrutada tulemus 0,82-ga.

Kui tulemus ei jää lubatava hälbe piiresse, siis tuleb väeturi regulaatoriga seadistada ammoniagiga vooluhulka ja korrata eelkirjeldatud samme kuni tegelik lämmastiku kogus ei erine normist üle 5%.

Väetamissühtlikkuse hindamiseks tuleb mõõta vooluhulgad pihustitest. Seda tuleb kindlasti teha väljas ja kaitseriietuses, sealjuures tuleb kanda kaitseprille, kummikindaid ja respiratorit. Tegevuse sammud on järgmised:

- 1) võtta iga pihusti kohta üks 20-liitrine ämber ja täita kõik 2/3 mahust veega;
- 2) kaaluda ämbrid soovitatavalt 100 kg-se mõõteulatusega kaaluga, mille mõõtetäpsus on vähemalt 50 g;
- 3) asetada ämbrid pihustite alla ja langetada pihustid, vajadusel koos väetuspiidega, ämbritesse;
- 4) avada teatud ajaks väeturi kraan, et ammoniaki pääseks paagist pihustite kaudu ämbritesse; kraani avatuse kestus peaks olema valitud selline, et ämbri mass suureneb väetise lisamisel ligikaudu 10% (vesi peab siduma kogu väljutatud ammoniagiga);
- 5) kaaluda ämbrid uuesti ja arvutada nende keskmine mass.

Ämbrite masside lubatud hälve keskmisest massist on $\pm 10\%$. Kui mõnest pihustist väljunud ammoniagiga kogus ei ole lubatud hälbe piires, siis tuleb selgitada probleem ja see lahendada. Selleks, et kindel olla hälvete suuruses, tuleks mõõtmisi teha vähemalt kaks korda. Sealjuures tuleb ämbritesse iga kord puhas vesi panna.

Ebaühtlikkuse põhjuseks võib olla:

- 1) pihusti ummistumine;
- 2) pihusti ava mittevastavus nõutavale suurusele ja kujule;
- 3) liiga väike painderaadius (murdekoht) voolikutel või torudel, mis takistab voolu;
- 4) ammoniagijaoturi mitterõhne asend.

3.5.8 AMMONIAAGIVEEGA VÄETAMINE

Ammoniagivee mõju mullale on väga lähedane vedela ammoniagiga mõjule. Lämmastikukadude vältimiseks tuleb see viia mulda vähemalt 6–12 cm sügavusele.

Selle vedelväetise muldaviimiseks sobivad samad seadmed, mis puhtal ammoniagilgi. Kuna aga nii suurt töösügavust ei ole vaja, siis on veojõutarve ammoniagiveega väetamisel ühe pihusti kohta väiksem. Samuti on võimalik töötada suurema töökiirusega. Ammoniagiveega saab väetada ka randaalimise, kündmise või teiste mullaharimistööde käigus ilma olulise lämmastikukaota (UNIDO, 1998).

4. TAHEDAD ORGAANILISED VÄETISED

4.1 ÜLEVAADE TAHEDATEST ORGAANILISTEST VÄETISTEST

Tahedad orgaanilised väetised on orgaanilised väetised mille kuivainesisaldus on üle 20%. Nad on virnastatavad ja nad ei voola raskusjõu toimel (Pain ja Menzi, 2003). Tahedate orgaaniliste väetiste hulka kuuluvad tahesõnnik, mitmesugused kompostid, vetikad ja mudad.

Tahesõnnik on allapanuga sõnnik, mille kuivainesisaldus on vähemalt 20% (vt ka 1.1). Sõnnik kuivainesisaldusega 17–25% on virnastatav kuni 1 m kõrguse ja kuivainesisaldusega üle 25% üle 1 m kõrguse aunana (PVT, 2007).

Sügavallapanusõnnik on loomapidamishoonetes küllaldase allapanuga tekkinud tahesõnnik, millest ei eraldu virtsa (Veekaitseõuded, 2011).

Tahesõnniku pH on 8–9. Mahumass on tahesõnnikul (18–25%) – 600–750 kg/m³, ja sügavallapanusõnnikul (>25%) – <600 kg/m³ (PVT, 2007).

Komposte liigitatakse algmaterjali järgi järgmiselt:

- sõnnikukompost on tahesõnnik, mis on läbinud kompostimisprotsessi;
- biolagunevate jäätmete compost – algmaterjalid on haljastus- ja pargijäätmed, liigiti kogutud bioloogiliselt lagunevad jäätmed, 3. kategooria loomsed jäätmed (Biolagunevate ..., 2006);
- roveesetekompost – algmaterjaliks on tahendatud roveesete ja tugiaineks hakkepuit, saepuru, turvas, põhk või mõni muu tugimaterjal (Reovee..., 2011).

Biolagunevatest orgaanilistest majapidamisjäätmest kompostitud segu sisaldab 55–60% kuivainet, milles on 0,6–0,7% lämmastikku, 0,2–0,4% fosforit ja 0,3–0,4% kaaliumi (Biolagunevate ..., 2006).

Reoveesetted on rovetest füüsikaliste, bioloogiliste või keemiliste meetoditega eraldatud suspensioonid. Põllumajanduses, haljastuses ja rekultiveerimisel roveesetete kasutamise nõuded on kehtestatud keskkonnaministri määrusega (Veeseadus, 2011).

Põllumajanduses tohib kasutada töödeldud setteid maal, mida kasutatakse põllumajandussaaduste tootmisel. Kasutamise all mõeldakse setete maapinnale laotamist või pinnasesse viimist (Reovee..., 2011).

Setted on töödeldud, kui neis sisalduvad orgaanilised ained on pinna- ja põhjaveele, mullale, taimedele, loomade ja inimese tervisele ohutuks muudetud vähemalt ühe loetletud toiminguga:

- 1) aeroobne või anaeroobne stabiliseerimine, sealhulgas kompostimine;
- 2) keemiline või termiline töötlemine;

- 3) setetes sisalduvate orgaaniliste ainete mineraliseerimine muudel viisidel.

Setete kompostimine on setete aeroobne lagundamine mikro- ja makroorganismide abil. Lagundamise soodustamiseks, et bakteritele vajalik hapnik pääseks lihtsamalt settesse, lisatakse setetele puukoort, saepuru, põhku, turvast või muid tugimaterjale ja mis segatakse setetega. Kompostimisel peab kompostitava materjali temperatuur olema vähemalt kuus päeva üle 60 °C.

Setted on töötlemata, kui neis on veesisaldust vaid vähendatud või setetele on lisatud tugimaterjale, kuid setteid ja tugimaterjale ei ole regulaarselt segatud ning tugimaterjalide ning setete segu temperatuur ei ole tõusnud üle 60 °C ja säilinud sellel temperatuuril vähemalt kuus päeva.

Eesti veepuhastusjaamades tekib ca 2,54 milj t setete kuivainet aastas (EKUK, 2010). Selles on nii inimtoidus olevaid taimetoiteelemente kui ka piirkonna tööstuse heitmeid. Viimastes võib esineda ka keskkonda ohtlikult saastavaid raskmetalle, kuid enamasti on nende osatähtsus väike.

Erinevates maades kasutatakse roveeseteteid mitut moodi: kas veetakse prügimäele, põletatakse energia saamiseks spetsiaalsetes ahjudes, kasutatakse põllumajanduses või uputatakse merre. Taimetoiteelementide bioloogilise ringe taastamise seisukohalt on nende tagastamine põllumajandusele vajalik (TTVK, 1996).

Palju uuringuid on tehtud roveesetete kui orgaanilise väetise otsemõju kohta erinevate kultuuride kasvatamisel. Tulemusena on tõdetud, et roveesetetega väetamine suurendab taimede maapealset biomassi ja saagikust ning parandab mulla füüsikalisi, keemilisi ja bioloogilisi omadusi (Aлару jt, 2012).

Et roveeed võivad olla väga erineva koostisega ja et nende puhastamiseks võidakse kasutada erinevaid tehnoloogiaid, võivad ka puhastusseadmetest saadavad setted ehk mudad olla mitmesuguse koostise ja väetisväärtusega. Et anda ühele või teisele roveesetele orienteeriv väetisväärtuslik hinnang, tuleb igal konkreetsel juhul määrata setete keemiline koostis ja võimaluse korral korraldada ka orienteerivad väetamiskatsed.

Peale vajalike toiteelementide sisaldavad roveesetted ka ohtlikke raskmetalle. Seetõttu on roveesetete väetisena kasutamine seotud keskkonnareostuse ohuga ja setetega väetamist on hakatud reguleerima. Paljudes riikides on välja töötatud põllumajanduskõlvikute suurimad lubatud raskmetallikoormused, mida võib aastas hektarile viia, samuti nende maksimaalne lubatav sisaldus põllumajanduses kasutatavates roveesetetes. Eestis kehtestatud normid on toodud tabelis 4.1.

Tabel 4.1. Raskmetallide sisalduste piirväärtused reoveesetete kasutamisel, kuivaines, mg/kg

Raskmetall	Setetes	Mullas	Mullas, 10a. keskmisena
Cd	20	3,0	0,15
Cu	1000	50	12
Ni	300	50	3
Pb	750	100	15
Zn	2500	300	30
Hg	16	1,5	0,1
Cr	1000	100	4,5

Vastavalt jäätmeseadusele käsitletakse reoveesetteid jäätmetena. Setteid põllumajanduses, haljastuses või rekultiveerimisel kasutamiseks andval isikul peab olema jäätmeluba. See ei laiene isikutele, kes annavad kasutajale ühe aasta jooksul kuni 2 t töötlemata setteid või kuni 20 t töödeldud setteid arvestatuna kuivainena.

Setete kasutamiseks põllumajanduses, haljastuses või rekultiveerimisel kooskõlas määrusega (Reovee..., 2011) kehtestatud tingimustega ei ole kasutajal jäätmeloa omamine kohustuslik.

Põllumajanduses, haljastuses ja rekultiveerimisel on keelatud kasutada setteid:

- 1) milles vähemalt ühe raskmetalli sisaldus ületab selle määruuses (Reovee..., 2011) esitatud piirväärtusi (tabel 4.1);
- 2) mis eraldatakse reoveest, kus ohtlike ainete sisaldus ületab kalendriaasta jooksul määruuses „Nõuete kehtestamine ühiskanalizatsiooni juhitavate ohtlike ainete kohta” (RTL 2003, 110, 1736) esitatud nõudeid, v.a teatud raskmetallide osas.

Setete kasutamine põllumajanduses, haljastuses ja rekultiveerimisel on keelatud maa-aladel:

- kus ühe või mitme raskmetalli sisaldus mullas ületab piirväärtusi (tabel 4.1);
- kus mulla pH \leq 5;
- mis on liigniisked või üleujutatavad;
- mis on külmunud või lumega kaetud.

Maa-aladel, kus mulla $5 < \text{pH} \leq 6$, võib põllumajanduses, haljastuses ja rekultiveerimisel kasutada ainult lubjaga stabiliseeritud setteid.

Mulda viidav kümne aasta keskmine raskmetallide kogus hektari kohta ei tohi ületada tabelis 4.1 esitatud piirväärtusi.

Maal, kus kasvatatakse köögivilja- või marjakultuure ning ravim- või maitsetaimi, on setete kasutamine keelatud.

Maal, kuhu on laotatud setteid, ei tohi:

- aasta jooksul pärast laotamist kasvatada köögiviljakultuure ning ravim- või maitsetaimi toiduks või söödaks;
- kahe kuu jooksul pärast laotamist karjatada loomi või varda loomasööta.

Kasutada ei tohi setteid, kus on fekaalseid *coli*-laadseid baktereid 100 ml-s üle 1000 pesa moodustava ühiku ja hel-

mintide mune 1 liitris üle 1 (munade aritmeetiline keskmine liitri kohta).

Helmint on kidausside, süstikusside või lameusside hulka kuuluv nugiuss, mis on kohastunud elama selgroogsete, sh inimese parasiitidena.

Sapropeel ehk järvemuda on mageveejärvede põhja laDestunud loom- ja taimorganismide (zoo- ja fütoplankton) jäänustest bakterite kaasabil anaeroobsetes tingimustes moodustunud kolloidne (sültjas) aine, mis sisaldab peaaegu kõiki biogeenseid elemente ning mitmesuguseid orgaanilisi aineid (suhkrud, tselluloos, humiinhapped, kasvustimulaatorid jm.).

Sapropeel on hea orgaaniline väetis. Õhukuivas sapropeelis sisaldub enamikul juhtudel 25–30% orgaanilist ainet, tuhasus on 20–85%, lämmastikusisaldus 0,56–3,6%, valdavalt 1,4% piirides, fosforit 0,1–0,26%, kaaliumi 0,2–0,44% ja kaltsiumi 1,2–2,1%. Peale nimetatute sisaldab sapropeel veel magneesiumi, mangaani, tsinki, molübdeeni, boori jt. elemente. Mineraalainete rohkus sapropeelis sõltub järve asukohast ja seda ümbritseva keskkonna taimetoitelementide sisaldusest.

Sapropeel kuivab aeglaselt, kuid kuivanult ei niisku uuesti. On aga sapropeel enne kuivamist läbi külmunud, kuivab sapropeel kiiresti ja muutub kobedaks massiks, mis võib ka uuesti niiskuda ja kuivada, muutmata seejuures oma füüsikalisi omadusi.

Prognoositud sapropeelivarud Eestis on 1,2 miljardit tonni. Varude evitamiseks on raskusi, sest see nõuab suuri investeringuid. Sapropeeli ammutatakse järvedest pinnasepumpadega. Torujuhtmeid mööda pumbatakse veerikas mass tahenemisväljakutele, kus sapropeelist liigne vesi välja imbub. Tahenemisväljakule peab sapropeel jääma võrdlemisi õhukese kihina, et see talvel läbi külmuks. Peale sulamist on vaja sapropeel kuivatada, õhustada ja vedada tarbimiskohale.

Sapropeeli keemiline koostis on võrdlemisi ebaühtlane. Taimetoiteelementide sisaldus sõltub järve toitumisrežiimist. Et see on olnud aastati muutuv, on ka sapropeeli keemiline koostis kihiti erinev.

Õhustatud sapropeeli võib kasutada kas otseselt orgaanilise väetisena või komposteeritult orgaaniliste ja mineraalväetistega.

Kuna sapropeeli efektiivsus on 2–3 korda sõnniku omast väiksem, siis sapropeeli väetisväärtuse suurendamiseks on soovitatav seda kompostida allapanuta sõnnikuga (vahekorras 1:1), kusjuures lisada iga tonni sapropeeli kohta 20–25 kg põhku (TTVK, 1996).

Mereadru. Eesti rannikualadel ja saartel on orgaanilise väetisena kasutatud merest kaldale uhitud põisadru (*Fucus vesiculosus*). Põisadru kuivaine on suhteliselt taimetoiteelementide rikas. Sügisel randa uhitud põisadru sisaldab kevadel orienteerivalt 70% kuivainet, 55% orgaanilist ainet, 0,76% lämmastikku, 0,04% fosforit ja 0,6% kaaliumi.

Adru laguneb mererannas suhteliselt kiiresti, mille tagajärjel leiavad aset suured taimetootelementide, eriti kaaliumi ja orgaanilise aine kaod. Seetõttu tuleb sügistormidega rannale uhutud adru enne püsivate külmade saabumist vedada tarbimiskohale ja seal virnastada. Kevadel pärast sulamist ja mõnenädalast käärimist võib adru laiali laotada ja sisse künda. Kasutamisaala, -viis ja -normid on samasugused nagu sõnnikulgi.

Mullas laguneb adru kiiresti ning selles sisalduvad taimetootelemendid muutuvad taimede kergesti omastatavateks (TTVK, 1996).

EMVI-s on katsetatud kartuli väetamist mereadruga. Adru laotati kartulivao põhja, sellele asetati mugulad ja seejärel aeti vaod kinni. Mereadruga variantides tärkasid mugulad nädala jagu varem kui muudes variantides. Põhjuseks tõenäoliselt adrus olnud niiskus ja orgaanilise aine lagunemisel tekkinud soojus (Särekanno ja Kotkas, 2011).

Haavapuitmassi tootmisel tekib kõrvalproduktina jääkmuda. Kuna puhta jääkmuda kasutamine ei ole seadusandlike piirangute tõttu lubatud, siis tuleb see eelnevalt kompostida. Üheks võimaluseks on jääkmuda segamine tsemenditootmise kõrvalprodukti klinkritolmuga, mis on leeliselise reaktsiooniga (pH 12–13) ja sisaldab suures koguses kaaliumit (4–5%).

Eestis on tehtud mitmeaastased katsed puhta jääkmudaga, ja seguga, kus haava puitmassi jääkmuda ja klinkritolmu osakaalud massi järgi on 10:1. Jääkmuda ja segu omadused on toodud tabelis 4.2 (Teesalu jt, 2012). Katses tehti segu kaks nädalat enne laotamist ja segati mulda nugaäkkega. Teraviljal katsetati seda segu normidega 20 ja 40 t/ha. Oluliselt suurima saagi andis segu 40 t/ha, mille puhul terasaak oli võrdne N120 mineraalse lämmastikväetise variandiga.

Nii jääkmudas kui ka segus esineb Na ja raskmetalle, mille kogus ei ohusta segu perioodilisel kasutamisel põllumulla kvaliteeti ega ületa väetamisel ettenähtud piirnorme (Reoveesette põllumajanduse, haljastuses ja rekultiveerimisel kasutamise nõuded, 2011).

Tabel 4.2. Haava puitmassi jääkmuda ning selle klinkritolmuga segu koostis (Teesalu jt, 2012)

Näitajad, elemendid	Haava puitmassi jääkmuda 2009	Haava puitmassi jääkmuda ja klinkritolmu segu 2009–2011
Kuivaine,%	15,5	24
pH _{KCl}	7,4	10,5
N, %*	4,0	3
P, %*	0,25	0,3
K, %*	0,44	2,3
Ca, %*	2,95	11
Mg, %*	0,64	1,2
C, %*	45,4	26,4
C/N	11,3	9

*% kuivaine kohta

Kuna siin peatükis kirjeldatavad tehnoloogiad ja masinad on välja töötatud eelkõige tahesõnniku laotamiseks, siis edaspidi on juttu tahesõnnikust ja selle käitlemisest. Tahesõnniku omadused on muutuvad väga suurtes piirides sõltuvalt ettevõtte tootmisteguritest. Kuna ülejäänud eelkirjelatud tahedad orgaanilised väetised mahuvad samuti neisse piiridesse, on need käideldavad samuti kui tahesõnnik.

4.2 KÄITLUSTEHNOLOOGIAD

Taheda orgaanilise väetise muldaviimine on oluline ammoniaaki sisaldavate väetiste korral. See on kergesti lenduv ja samas taimedele hästi omastatav lämmastikuühend. Seetõttu on ammoniaaki sisaldava väetise tõhususe tagamiseks oluline selle kiire mulda viimine. Orgaaniliste väetiste toiteainete sisaldused on võrreldes mineraalväetistega suhteliselt madalad ja seetõttu on orgaanilise materjali vajadus pinnauhikule märkimisväärselt suurem. Samas on keskkonnanõuetega lubatud hektarikogused piiratud ja sageli tuleb sõnnikut vedada ka hoidlast kaugel asuvatele põldudele. See tingib tehnoloogilises skeemis suuremad hoiustamis-, laadimis- ja veomahud kui mineraalväetiste käitlemisel. Sõltuvalt põldude kaugusest ja suurusest eristatakse otseveoga ja etteveoga tehnoloogiat.

Otseveoga tehnoloogiat kasutatakse juhul, kui põld ei ole hoidlast väga kaugel. Joonisel 1.1 on selleks piiriks arvutuslikult 3 km, kuid sõltuvalt konkreetsetest tingimustest võib see väärtus ka teistsugune olla. Sel juhul on käitlusetaappideks tahevätise

- 1) hoiustamine ettevõtte hoidlas;
- 2) laadimine hoidlast laoturisse;
- 3) vedu laoturiga hoidlast põllule;
- 4) laotamine.

Kui põld asub hoidlast kaugemal ja ettevõttes ei ole piisavalt sõnnikulaotureid, siis on otstarbekas kasutada etteveoga tehnoloogiat. Kuna taheda materjali veokilt laoturisse laadimine on tülikas, siis see kallutatakse põllule auna. Sage li veetakse tahe orgaaniline väetis põllule aunadesse valmis siis, kui on vedamiseks sobivaim aeg ja laotamine toimub teisel, laotamiseks sobivaimal ajal. Käitlusetaappideks on siis väetise

- 1) hoiustamine ettevõtte hoidlas;
- 2) laadimine hoidlast veokisse;
- 3) vedu veokiga hoidlast põllule;
- 4) aunastamine;
- 5) hoiustamine põlluservas aunas;
- 6) laadimine aunast laoturisse;
- 7) laotamine.

Tehnoloogia valikul tuleks silmas pidada, et tänu vaheladustamisele põllul aunas väheneb väetise laotamiseks sobival ajal ajakulu vedudele. Samas hoitakse otseveol kulusid

kokku täiendava laadimise arvelt põllul. Arvestada tuleb ka, et aunastamisel on mitmed piirangud ja toiteainete kaod võivad olla märkimisväärsed (vt 4.3.4).

Mõnda liiki tahedate orgaaniliste väetiste kleepumise ja paakumise tõttu laoturi seintele ja detailidele on oluline ka masinate puhastamine pärast nende kasutamist.

4.3 KÄITLUSOPERATSIOONID

4.3.1 HOIUSTAMINE

Kõikidel loomapidamishoonetel, kus peetakse üle 10 loomühiku loomi, peab olema sõnnikuhoidla. Sõnnikuhoidla peab mahutama vähemalt 8 kuu sõnniku koguse. Kui loomi peetakse sügavallapanul ning laut võimaldab säilitada aastase sõnnikukoguse, ei ole eraldi sõnnikuhoidla rajamine kohustuslik. Väljaspool sõnnikuhoidlat, sõnnikuaunas tohib säilitada ainult tahesõnnikut, mille kuivainesisaldus on üle 20%) (PVT, 2007).

Vee ja pinnase reostamise vältimiseks peab sõnnikuhoidlal olema veekindel põhi, mis peab taluma ka transpordivahendite koormust. Seinad peavad vastu pidama ühelt poolt sõnniku ning teiselt poolt pinnase survele. Põhjavee tase peab sõnnikuhoidla põhjast olema vähemalt 1 m võrra madalamal. Lihtsaimaks tahesõnnikuhoidlaks on betoneeritud plats, millele tahesõnnik kuhjatakse. Sõnnikust eralduv virts kogutakse kokku platsi servas olevate virtsakanalite abil ning hoiustatakse eraldi virtsamahutis. Betoonplatsi soovitatav kalle virtsarennide suunas on 0,5–1%.

Hoidla ümbritsetakse kolmest küljest seintega. Seinte kõrgus valitakse tavaliselt vahemikus 1–1,8 m, millele vastab keskmine ladustamiskõrgus 1,5–2 m. Hoidla mahutavuse arvutamisel tuleb arvestada, et ühe külje puudumise tõttu ei ole kogu hoidla täitmiskõrgus ühtlane.

Virtsa läbilaskvate (höredate) seintega hoidlast nõrgub sõnnikus olev vedelik avade kaudu vahetult seina taga asuvasse virtsakogumisrenni, milles virts voolab edasi virtsahoidlasse. Rennil peab olema piisav kalle (min 0,5–1%) ning seda tuleb korrapäraselt puhastada. Takistamiseks tahesõnniku sattumist virtsakogumisrenni on soovitatav väljavooluavade ette panna filtriks roostevaba terasvõrk, hekseldamata põhk või põhupallid, sama kehtib ka hoidlas sees olevate kogumiskanalite kohta.

Tahesõnnikuhoidlate veetihedad seinad ehitatakse üldjuhul monoliitsetest raudbetoonist või betoonplokkidest.

Tahesõnnikuhoidla täitmisel tuleks eelistada hoidla põhja all asuvat sõnnikutoru, kuna siis on toiteainete kaod ning sõnniku läbikülmumise oht väiksemad. Pressuriga surutakse sõnnik laudas maa-alust toru mööda hoidlasse. Ilmastikutegurid (välistemperatuur, tuulekiirus, päikesekiirgus, sademed jmt) mõjutavad rohkem sõnniku pealmise kihi omadusi kui selle alla surutavad alumisi kihte. Alttäitmise korral saab

hoidla katta sõnnikukihil paikneva õhutiheda kattega (Leola jt, 2007).

Tahesõnnikuhoidla katmine (Leola jt, 2007). Sademete eest kaitseb sõnnikut katus. Sõnnikust eralduv vedelikukogus väheneb küll oluliselt, kuid toiteainete kaod ammoniaagi lendumise tõttu eriti ei vähene. Toiteainete lendumise vältimiseks kaetakse sõnnik õhutiheda kattega - tavaliselt kilega.

4.3.1 LAADIMINE

Taheda orgaanilise väetise laadimiseks sobivad ratas- (joonis 4.1), teleskoop- (joonis 4.2), ekskavaator- (joonis 4.3) ja traktori esilaadurid.



Joonis 4.1. Rataslaadur (Janssen, 2012)



Joonis 4.2. Teleskooplaadur (Tamm, K.)

Piidega haaratsid ja hargid (joonis 4.3 ja 4.5) sobivad paremini pikka põhku sisaldava sõnniku laadimiseks. Samuti sobivad need muude pikki kiude sisaldavate tahkete orgaaniliste väetiste laadimiseks.

Ülejäänud tahedate orgaaniliste väetiste laadimiseks sobivad paremini kopplaadurid.

Laadimisjõudlus on suurem piisulguriga kopplaaduriga laadimisel (joonis 4.4).



Joonis 4.3. Haaratsiga ekskavaatorlaadur (Vzorec Raka, 2012)



Joonis 4.4. Piisulguriga kopp (RTC Tehnika, 2012)



Joonis 4.5. Piisulguriga hark (Vettik, R.)

4.3.3 VEDAMINE HOIDLAST PÖLLULE

Sõnnikuveol peab vedaja ära hoidma sõnniku sattumise keskkonda (Veekaitseõued ..., 2011).

Tahesõnniku hoidlast põllule vedu toimub sageli tahesõnnikulaoturiga, mõnel juhul isegi siis, kui tahesõnnik vaheladustatakse põllule auna. Mõnel laoturil on võimalik laotusseade tühendamise ajaks hüdrosilindrite abil üles pöörata, et sõnnik oleks võimalik kiiremini kastist välja laadida (joonis 4.6). Teine variant on etteveo ajaks laotusseade demonteerimine ja asendamine tagaluugiga. Laoturi kast tühendatakse mõlemal juhul kas tõukekilbi või konveieriga (vt 4.3.5.2).



Joonis 4.6. Ülestõstetav laotusseade võimaldab laoturi kiiremat tühendamist (KSCC, 2012)

Tahesõnniku veoks hoidlast põllule kasutatakse ka veoautosid, need sobivad paremini juhul kui sõnnikut veetakse teedel, kus on võimalik sõita traktorist kiiremini. Samas tuleb silmas pidada, et veoauto läbivus peaks olema piisavalt hea põllul liikumiseks. Arvestada tuleb ka täiendava ajakuluga sõnniku veoautost laoturile laadimisel. Laadimist aitab kiirendada sellise kalluri kasutamine, mis eelnevalt tõstab oma kasti parallelogramm-mehhanismiga laoturist kõrgemale ja seejärel kallutab laoturi kasti.

Osa tahesõnniku laoturite tootjaid on paigaldanud tahesõnniku laoturi veoautole, et saavutada korraga väiksem ajakulu nii transpordile kui laadimistele (joonis 4.7).



Joonis 4.7. Tahesõnnikulaotur on monteeritud veoautole (Bergmann, 2012)

4.3.4 VAHELADUSTAMINE PÖLLUL

Tahke orgaaniline väetis ladustatakse põllule tavaliselt aunanena ehk pikkade hunnikutena. Sõnnikuaunana käsitletakse „Veeseaduse” tähenduses maapinnal hoitavat sõnnikut. Sõnnikuaun peab olema kaetud vettpidava materjaliga või vähemalt 20 cm paksuse turba-, põhu-, mulla-, saepuru- või puitlaastu kihiga. Sõnnikuauna ei tohi kahel teineteisele järgneval aastal paigutada samasse kohta (Veekaitseõudened ..., 2011).

Haritaval maal on aunas lubatud hoida vaid tahesõnnikut (mitte vedelat ega poolvedelat) mahus, mis ei ületa ühe vegetatsiooniperioodi kasutuskoost.

Nitraaditundlikul alal on kuni 50 m ulatuses veepiirist või karstilehtri servast keelatud sõnniku hoidmine sõnnikuaunas, kui kaitse-eeskiri teisiti ei sätesta (Veeseadus, 2011).

Sõnniku ladustamine põllul aunades on hädaabinõu, millega kaasneb põhja- ja pinnavee reostumise risk. Ilma aluseta sõnniku põlluaunast võib kaitsmata põhjaveega alal virts imbuda põhjavette. Põhjavee reostumise risk on eriti suur karstialadel.

Katmata sõnnikuaunast (joonis 4.8) võib sademetevee ja väljanõrguva virtsa tõttu sõnnikust kuni 45% kaaliumist ning 10% fosforist leostuda. Katmata sõnnikuaunast võib lenduda 25–30% lämmastikust, kaetud aunast kuni 20% (PVT, 2007).



Joonis 4.8. Sõnnikuaun põllu keskel (Tamm, K.)

Sõnniku hoidmisel põlluaunas on põhja- ja pinnavee saastumise vältimiseks soovitatav (Keskkonnaamet, 2011):

- sõnnikuvedelike sidumiseks rajada sõnnikuauna alus vett imavast materjalist (turvas, põhk jms);
- sõnnikuauna asukohaks ei sobi karstialad ja kaitsmata põhjaveega alad; seda eriti kui läheduses (500 m) paikneb maapinnalähedastest veekihist toituv ühisveehaare;
- kui sõnnikuauna rajamine kaitsmata põhjaveega alale on vältimatu, tuleb selle rajamisel veereostuse vältimiseks sõnnikuauna alus muuta veekindlaks kile või geotekstiiliga või rajada muust materjalist vettpidav alus.

Aunad tuleks paigutada põllule nii, et hiljem laotamise ajal oleks laoturiga vaja võimalikult vähe tühisõite teha vähendades seega ühtlasi põldude asjatut tallamist.

4.3.5 LAOTAMINE JA MULDA VIIMINE

4.3.5.1 Nõuded tahesõnniku laotamisele

Sõnniku parima laotamistehnoloogia valik peab:

- tagama välisõhu, pinna- ja põhjavee kvaliteedi säilimise keskkonnanormatiividele vastavana;

- tagama, et sõnnikust reoainete emissioonid õhku ja vette oleks võimalikult väiksed.

Nende eesmärkide saavutamiseks on sõnniku laotamisel oluline õige laotusnorm, laotamise ühtlikkus ja sõnniku kiire muldaviimine.

Peamised agronõuded sõnnikulaotamisele on järgmised:

- 1) sõnnikuga koos ei tohi laotada võõrkehi;
- 2) sõnnik tuleb laotada võimalikult ühtlaselt: hälve pikitühtlikkusel ei tohiks ületada $\pm 15\%$ ja põikühtlikkusel $\pm 25\%$.

Kultuurideta põllul tuleb tahesõnnik laotamise järel mulda viia 12 tunni jooksul (Keskkonnaamet, 2011). Põllule laotatud, kuid sissekündmata tahesõnniku kergesti omastatavast lämmastikust lendub suhteliselt kiiresti ammoniaagina atmosfääri 50–60% (BalticDeal, 2012a).

Tahesõnnikulaoturiga laotatava sõnniku kuivainesisaldus peab olema üle 15%. Tulenevalt tahesõnniku ebahütlasest konsistentsist on selle ühtlane annustamine keerukas.

Sõnnikut tohib laotada ainult töökorras oleva sõnnikulaoturiga, mis sobib olemasoleva sõnnikutüübi laotamiseks. Laotamise vastavust kavandatud annusele ja laotamise ühtlikkust tuleb pidevalt kontrollida.

4.3.5.2 Tahesõnniku laoturid

Tahesõnnikulaotureid liigitatakse

- 1) haakeviisi järgi - haake, ripp-, poolripp- ja liikurlaoturid;
- 2) laotamissuuna järgi - taha- ja külglaoitamise järgi;
- 3) etteandeseadme tüübi järgi - konveier- ja tõukekilpetteandeseadmega;
- 4) laotamiseadme tüübi järgi - biiter-, ketas-, koot- ja roortorseade;
- 5) biitrite asetuse järgi - püst-, rõht- ja pikibiitri(te)ga;
- 6) biitrite konstruktsiooni järgi - hammas-, tigu-, laba- ja kootbiitriga;
- 7) biitrite arvu järgi - 1, 2, 3, 4... biitriga;
- 8) mahuti järgi - kastiga või punkriga;
- 9) haakelaoturid jagunevad telgede arvu järgi kahe- ja kolmeteljelisteks;
- 10) poolripplaoturid jagunevad ühe- või tandemteljelisteks;
- 11) sõnniku paigutamise järgi - mullale laotavad ja muldaviivad laoturid.

Enamasti on sõnnikulaoturid poolripplaoturid ja koosnevad järgmistest põhiosadest: raam, veermik, mahuti, etteandeseadis, laotusseadis, ajam, hüdro- ja elektriseadmed.

Mahuti on laoturitel enamasti risttahuka kujuline kast. Punkermahuti alaosa ristlõige on tagantvaates enamasti trapsikujuline. Pikibiitriga kootlaoturitel on punkermahuti alaosa ristlõige poolringikujuline, et koodiotste liikumist-rajektor saaks kopeerida mahuti põhja ja selle võimalikult täielikult tühjendada (joonis 4.25).

Osadel laoturitel on kast tahapoole väheke laienev, et vähendada etteandel sõnniku ja kasti külgede vahelist hõõr-

detakistust (Samson, 2010). Mõned tootjad valmistavad laoturi kastid plastplaatidest või lamineerivad teraskasti seest plastikuga, et vältida kasti korrodeerumist, vähendada kasti ja sõnniku vahelist hõõrdetakistust ning sõnniku kinnikülmutumist kasti külge.

Mahuti esiseina ülemine osa on sageli metallvõrgust või perforatsiooniga terasplekist, et masinajuht saaks jälgida kasti tühjenemist (joonis 4.9).



Joonis 4.9. Laoturi kasti esiosa ülemine osa on perforatsiooniga, et oleks võimalik traktorist jälgida kasti tühjenemist (Bergmann, 2012).

Etteandeseadmed

Etteandeseadme ülesanne on laotava materjali etteandmine laotamisseadmele.

Põhjakonveieri liikumiskiirus reguleeritakse vastavalt laotamisnormile. Konveierit käitatakse kas mehhaanilise ülekande abil traktori käitusvõllilt, laoturi ratastelt, või hüdmootoriga. Mehhaanilise ülekande üheks osaks on pörkmehhanism, mis võimaldab saada väga suurt ülekandesuhet, samas on konveieri liikumine sel juhul ebaühtlane. Nüüdisajal on enam levinud hüdrauliline ülekanne, mis võimaldab konveieri liikumiskiiruse sujuvamat, töökindlamat ja mugavamalt juhtimist. Etteandekonveieri liikumissuund sõltub laoturi tüübist - taha või küljele.

Sõnnikulaoturitel on sõnniku etteandeks laotusseadmetele peamiselt kahte tüüpi põhjakonveierid: kett-liistkonveierid (joonis 4.10) või tigukonveierid (joonis 4.23a), neid võib olla mitu. Punkerlaoturites kasutatakse enamasti tigukonveier-etteannet. Kastlaoturites kasutatakse seevastu kett-liistkonveierit.

Kett-liist konveieritel on 2, 3 või 4 ketti, mille külge on kinnitatud U- või L-kujulised terasliistud. Liistude vahekaugus on tavaliselt 200 või 400 mm. (Landry, 2005).

Kett-liistkonveieri kette pingutatakse konveieri veetava telje nihutamise teel (joonis 4.11). Mõned laoturid on varustatud hüdroüsteemiga, mis pingutab etteandekonveierit automaatselt (Samson, 2010) lükates kasti põrandat pikemaks.

Kui põhjakonveieri kette ei saa enam telje nihutamise abil pingutada, siis tuleb ketid lühemaks teha. Selleks tuleb konveieri veetava telje nihutamise teel kett lõdvaks lasta. Mõnel laoturil on võimalik selleks kasutada vintsi, mille abil te-

kitatakse ketid nii lõtv piirkond, et ketil saab mittevajalik(ud) lüli(d) vahelt välja võtta ja keti otsad uuesti ühendada (joonis 4.12). Joonisel 4.12 oleva keti lüli eemaldamiseks tuleb seda esmalt 45° pöörata ja siis saab selle ketist kätte. Peale kettide lühendamist tuleb need uuesti pingutada konveieri telje nihutamise teel.



Joonis 4.10. Laoturi kasti põhjas olev kett-liistkonveier (Vettik, R.)

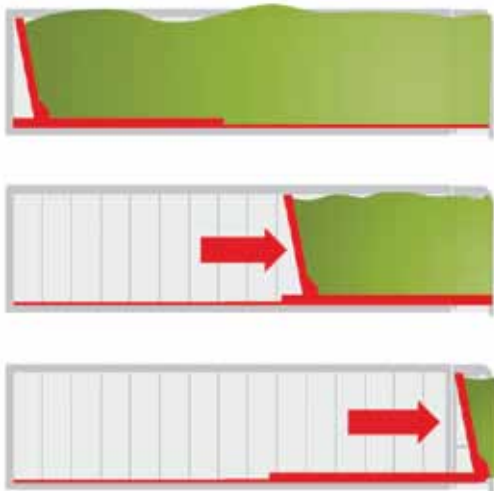


Joonis 4.11. Põhjakonveieri ketipinguti (Joskin, 2012)



Joonis. 4.12. Põhjakonveieri keti lühendamine (Meyer's Equipment, 2012).

Teine moodus laotusseadmetele sõnniku etteandmiseks on selle lükkamine piki kasti hüdrosilindri jõul liigutatava tõukekilbiga (joonis 4.13). Laoturi tühjenemisjõudlus ehk laotamisnorm sõltub tõukekilbi liikumiskiirusest, seda reguleeritakse tõukekilbi hüdrojaguri ventiiliga. Enamasti on sellis etteandeseadet kasutava sõnnikulaoturi kasti põhi ja küljed tehtud plastiplaatidest (polüüretaan), et vältida kasti korrodeerumist ning vähendada hõõrdetakistust ja sõnniku kinnikülmutumist kasti külge (Leon's, 2011).



Joonis 4.13. Tahesõnniku etteanne laotamiseadmele liikuva kastipõranda ja tõukekilbiga (Fliegl, 2012)

Tõukekilp-etteanne võib olla konstrueeritud veel selliselt, et koos tõukekilbiga liigub ka osa laoturi kasti põrandast (joonis 4.13). Sel juhul sõnniku ja kasti põhja vaheline hõõrdetakistus ei toimi korraga kogu kasti pikkuses, vaid ainult osal sellest ja seega väheneb energiakulu väetise liigutamiseks laotamiseadme juurde.

Vootõke (joonis 4.14) – tegemist on (enamasti veetihe- da) seinaga, mis asub laotusseadme ees. Sisuliselt on see kastilaiune siiber, mille kõrguse muutmise saab reguleerida laotusseadmele etteantava sõnnikukihi kõrgust ja ühtlustada etteannet. Samas takistab see sõnnikul lendamast pöörlevatelt biitritelt ettepoole kasti tagasi või traktori pihta.

Laotamisnormi seadmiseks tõstetakse siiber hüdrotsilindri(te) abil vajalikule kõrgusele, maksimumkõrgusel on biitrite esine täiesti avatud. Allalastud siiber hoiab ära sõnniku biitrite vahelt mahapudenemise laadimise ja transportimise ajal. Vootõke võimaldab seada laotusnormi küllaltki väikeseks (näiteks Samsoni laoturil on spetsifikatsiooni järgi reguleerimisvahemik 4-70 t/ha), et oleks võimalik laotada ühtlaselt ka kõrge toiteainete sisaldusega orgaanilist väetist nagu tahe kanasõnnik.

Laotamiseadmed

Sõnnikulaoturi laotamiseade koosneb pöörlevatest seadistest, millel on kolm peamist ülesannet:

- 1) kihist materjali lahti rebimine;
- 2) materjali peenestamine, et võimaldada suuremat heitekaugust ja laotamisühtlikkust;
- 3) materjali heitmine laoturist ühtlaselt kogu ettenähtud laotamislaaiuse ulatuses.

Laotamiseadmed jagunevad seadme konstruktsiooni järgi biiter-, ketas-, rootor- ja kootseadmeteks. Laotamiseadmete ajamiseks on kas traktori hüdrostsüsteemiga ühendatud hüdro mootor või jõuvõtuvõlliga ühendatud mehhaaniline ülekandesüsteem. Kui laotur on veoautole monteeritud, siis on ajamiseks vastavad auto süsteemid.



Joonis 4.14. Laotusseadmele etteantava sõnnikukihi kõrgust reguleeriv siiber, joonisel on maksimumkõrgusel (Vettik, R.)

Tahalaotusega biiterlaoturid on kõige enam levinud. Biitrid võivad olla erineva tehnilise lahendusega:

- 1) võllid, millele on kinnitatud piid või noad (Leon's, 2011);
- 2) teod, mis on ääristatud hammaste või piidega (joonised 4.15–4.18);
- 3) võllid, millele on kinnitatud sakiliste servadega labad (joonis 4.17);



Joonis 4.15. Rõhtbiitriga tahalaotamiseade, biitrite all on näha kaks kitsast etteandekonveierit (Briri, 2012)

- 4) võllid, millele oleva pii otsa on kinnitatud koodid. Koot koosneb ketist ja selle otsas rippuvast vasarast (joonis 4.19).

Biitrid pannakse pöörlema enamasti kettülekande abil, mis on ülekoormuse vältimiseks varustatud kaitsesiduriga. Kettülekanne saab ajami kas hüdmootorilt või jõuvõtuvõllilt.



Joonis 4.16. Rõhtbiitrite ja laotamisketastega tahalaotamise seade (Bergmann, 2012)



Joonis 4.18. Kahe püstbiitri ja ketastega tahalaotamise seade (R. Vettik)



Joonis 4.17 Nelja püstbiitriga tahesõnniku laotur (Pöttinger, 2012)

Tahalaotusega biiterlaoturil võivad olla nii rõht- kui püstbiitrid. Rõhtbiitrite korral on laotamisseadmes üks kuni kolm biitrit. Püstbiitriteid on sõltuvalt laoturi tüübist kaks või neli. Suurema laotamislaiuse saavutamiseks pöörlevad püstbiitrid vastassuunas. Püst- ja rõhtbiitrid mõjutavad materjali sarnaselt. Püstbiitrite telgedel on ebavõrdne koormus. Kokkupressitud materjali korral on biitrite alumises osas koormus suurem kui ülemises. Püstbiitrite alumises otsas on enamasti laotamiskettad (joonis 4.18).

Võrreldes püstbiitritega on rõhtbiitritel laotamislaius väiksem ja nad ei purusta väetisekamakaid nii hästi, kuna need varisevad koorma pinnalt vabamalt biitrite haardeulatusse ja võidakse purustamata kujul põllule heita (Alberta EFP, 2013).

Kahe rõhtbiitriga laotamise seade sobib hästi tahesõnniku laotamiseks, komposti jaoks on sobivus alla keskmise.



Joonis 4.19. Ühe rõhtse kootbiitri ja laotamisketastega tahalaotamise seade (HiSpec, 2012)

Rõhtbiitrite ja laotamisketastega laotamise seade sobib väga hästi komposti ja hästi tahesõnniku laotamiseks

Neljast püstbiitrist ja nende all paiknevatest ketastest koosnev laotamise seade sobib väga hästi tahesõnnikule, ent rahuldavalt kompostile (Bogun ja Jõgeva, 2005).

Tahalaotamisega ketaslaotamiseseade

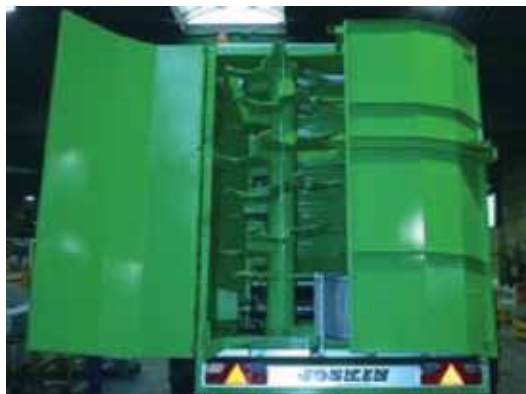
Laotamiskettad asuvad osaliselt laoturi kasti põhja gaserva all. Laotamiseseade koosneb kahest või enamast pöörlevast horisontaalsest kettast, mis on tavaliselt labadega. Kettad võivad olla ka kaldsed. Kettad saavad ajami kas hüdmootorilt või jõuvõtuvõllilt.

Ketasseadiseid kasutatakse enamasti koos biitritega. Sellise süsteemi korral on sõnniku murendamise-tükeldamise ja laotamise funktsioonid eraldatud. Biitrite ülesandeks on materjali murendamine-tükeldamine ja etteanne ketastele. Laotamiseseadme taga olev kate (joonis 4.22) aitab peenestatud materjali suunata laotamisketastele. Materjal langeb pöörlevatele ketastele ja heidetakse tsentrifugaaljõu mõjul põllule. Seda tüüpi laotamiseseadmed sobivad hästi peenetükilise materjali laotamiseks (Landry, 2005). Teadaolevalt võimaldavad ketaslaoturid sõltuvalt laotatava materjali omadustest laotada kuni 24 m laiuselt. Mõnel ketaslaoturil on võimalik tahesõnniku jaotumist seada nii, et ühel küljel on laotuskaugus väiksem (joonis 4.20), võimaldades seega laotada põlluservale lähemal ilma, et sõnnik lubatust kaugemale paiskuks.

Tagaluugid (joonis 4.21) võimaldavad transpordi ajaks katta laotamiseseadmed nii, et sõnnik sealt välja ei pudeneks. Tavaliselt on laotamise ajal mõlemad tagaluugid avatud, kuid neid on võimalik avada ka ühekaupa ja seega laotada väiksema haardeaiusega, näiteks pöördeirbade väetamisel (Joskin, 2011).



Joonis 4.20. Kui ketaslaotamiseseade on kallutatud, siis on madalamal küljel laotamiskaugus väiksem kui kõrgemal küljel (Samson, 2010b)



Joonis 4.21. Mõnele tahesõnniku laoturile on võimalik lisana tellida tagaluugid (Joskin, 2011)

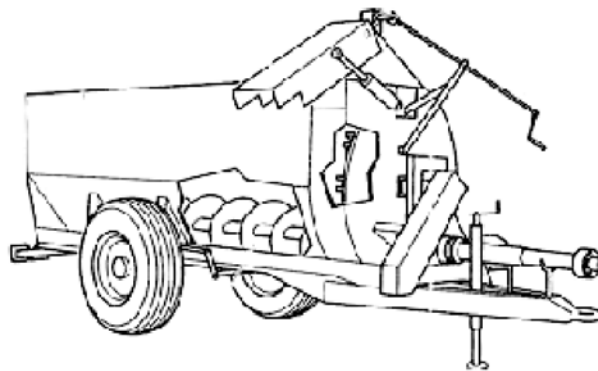


Joonis 4.22. Laotamiseseadme kate ja küljepiiraja (Joskin, 2011)

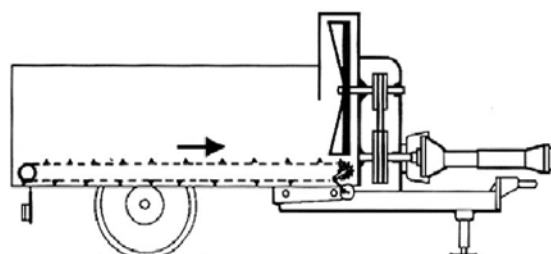
Peenetükilise materjali laotamiseks on mõnel laoturil võimalik kasutada ka biitrite katet (joonis 4.22), mis on üks tervik. Sel juhul on laotamisketaste taga eraldi väiksed hüdraulilise ajamiga luugid, mida on võimalik kasutada ka küljepiirajatena.

Külglaoamisega rootorlaotur

Laoturi kasti esiosas on paigutatud suure läbimõõduga, liikumissuunas asetseva pöörlemiseljega labadega rootor, mis paiskab sõnniku küljelt välja (joonistel 4.23a ja b, 4.24). Laotamiskauguse ja -jaotuse määrab rootori katte asend. Roororit kasutatakse mehhaanilise ülekande kaudu traktori jõuvõtuvõllilt.



a)



b)

Joonis 4.23. Külglaoamisega rootorlaoturi etteandeseadmena kasutatakse a) tigukonveierit või b) kett-liistkonveierit (Landry, 2005)

Etteandekonveier surub materjali vastu rootorit, mis haarab materjali kaasa, veab läbi rootori korpuse ja heidab

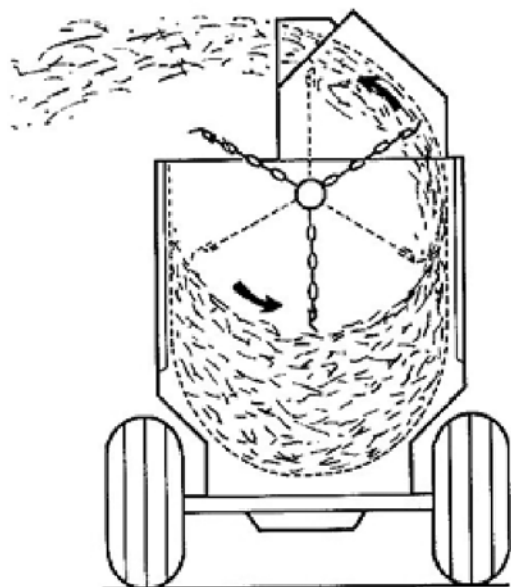
välja vastavalt rootori katte asendile. Kui rootori katte ehitus ja/või asend on ebasobivad, võib toimuda ka sõnniku liigne peenestumine (sõltuvalt katte nurgast materjal kas libiseb sellel või laguneb) (Landry, 2005).



Joonis 4.24. Külglaoatamise ja punkermahutiga tahesõnnikulaotur (Kuhn, 2012)

Külglaoatamisega kootlaoturil on kettkootidega pikibiiter (joonised 4.25 ja 4.26). Biiter pöörleb ja liigub samas ültalt alla sõnnikut järk-järgult koodiotstega haarates ja vastavalt juhtkilbiga määratud suunale laoturist välja heites. Laotamisnormi saab seada võlli pöörlemis- ja laskumiskiiruse muutmisega. Toodetakse ka laotureid, millel biiter üles-alla ei liigu. Külglaoatamisega kootlaoturitel puudub materjali liigutav etteandesüsteem. Biitrit käitatakse mehhaanilise ülekande kaudu traktori jõuvõtuvõllilt.

Sarnase konstruktsiooniga kootlaoturi konstrueeris ja ehitas valmis 1960.-date keskel Tartumaal Teedla sovhoosis insener E. Ramler.



Joonis 4.25. Külglaoatamisega pikibiitriga kootlaoturi tööpõhimõtte skeem (Landry, 2005)

Tahesõnniku sisestusseade

2001. aastast kestnud uuringute tulemusel on Prairie Põllutöömehhanika Instituudis (PAMI) konstrueeritud nii tahedat kui poolvedelat sõnnikut muldaviiva seadme pro-

totüüp (joonis 4.27). Laoturi kasti põhjas paiknevad tigukonveierid, mis veavad laotatava materjali kasti tagaosasse vastu vootõket, millega reguleeritakse põiki asetsevale tigukonveierile (põikteole) annustatava materjali kogust. Põikte all olevatest avadest langeb laotatav materjal elastsetele tigukonveieritele, mis veavad laotatava materjali piki painduvaid torusid muldaviimisseadisteni. Muldaviimisseadiste ees olevad kettad löikavad mulda löhe. Muldaviimisseadiseks on ahenev tigukonveier, mis surub sõnniku mullalõhesse. Tigukonveierite ajamiteks on hüdro mootorid. Viimasel ajal on arendatud teisigi sarnaseid prototüüpe, mis aga ei ole veel jõudnud laia kasutusse (US Patent 7814848, 2010).



Joonis 4.26. Külglaoatamisega pikibiitriga kootlaotur. Antud mudelil on biitri telje kõrgus mahuti põhja suhtes samal kõrgusel (HiSpec, 2012)



Joonis 4.27. Tahesõnniku sisestusseade (PAMI, 2012)

4.3.5.3 Tahesõnnikulaoturi laotamisnormi seadistamine

Taheda orgaanilise väetise hektarile laotatav tegelik kogus sõltub kolmest tegurist:

- laotusagregaadi liikumiskiirusest;
- laoturi etteandeseadme jõudlusest;
- laoturi töölaiausest.

Vajaliku laotamisnormi saavutamise võimalused on järgmised:

- 1) laoturi liikumiskiiruse muutmine traktori käigu vahetusega;
- 2) etteandeseadme - kett-liistkonveieri või tõukekilbi liikumiskiiruse muutmine
- 3) vootõkke kõrguse muutmine;

Tahesõnniku laoturi vajaliku liikumiskiiruse saab arvutada järgmise valemi abil:

$$v = \frac{36000 Q}{bn}$$

kus v – liikumiskiirus, km/h;

Q – laoturi väljalaadimisjõudlus, t/s;

b – töölaius, m;

n – etteantud laotusnorm, t/ha.

Laoturi väljalaadimisjõudluse saab määrata täidetud mahuti tühendamisele kuluva aja järgi, ühtlasi on vaja teada kasti mahtuva sõnniku kogust. Lihtsaim viis seda teada saada on kaalumise koormakaaluga, kui seda ei ole, siis tuleb määrata kasti maht ja sõnniku mahumass.

Mahumassi määramiseks tuleb üks teatud mahuga ämber täita sõnnikuga, see ära kaaluda ja saadud mass jagada ämbri mahuga liitrites, nii saab teada sõnniku mahumassi kg/l ehk t/m³.

Laoturi kasti mahtuva sõnniku massi, kui kast on täidetud täpselt servani ja ilma kuhjata, saab arvutada järgmise valemi järgi:

$$m = \gamma V$$

kus m – laoturi kasti mahtuva sõnniku mass, t;

V – laoturi kasti maht, m³;

γ – sõnniku mahumass, t/m³.

Väljalaadimisjõudlus leitakse valemiga

$$Q = \frac{m}{t}$$

kus t – laoturi kasti tühendamisele kuluva aeg, s.

Näide. Etteantud laotusnorm on 30 t/ha. Kui laoturi mahutisse on laaditud 8 t sõnnikut ja selle täielik tühendamine toimub 300 s jooksul, siis on väljalaadimisjõudlus:

$$8 : 300 = 0,027 \text{ t/s.}$$

Kui laoturi töölaius on näiteks 4 m, saame arvutuslikuks liikumiskiiruseks:

$$(0,027 \times 36000) : (4 \times 30) \approx 8 \text{ km/h.}$$

Liikumiskiirus tuleb arvutada iga kulunormi ja sõnnikuliigi korral. Kui liikumiskiiruse valikuga ei ole võimalik soovitud kulunormi saada, tuleb muuta etteandeseadme - kett-liistkonveieri või tõukekilbi liikumiskiirust.

Tegelikku kulunormi saab kontrollida ka kui laotamislaiuse ja ühe koorma laotamisel läbitud teepikkuse järgi arvutada täislaotatud pindala. Kulunormi saab koorma massi jagamisel pindalaga.

5. VEDELAD ORGAANILISED VÄETISED

5.1 ÜLEVAADE VEDELATEST ORGAANILISTEST VÄETISTEST

Vedelad orgaanilised väetised on orgaanilised väetised mille kuivainesisaldus on alla 8%. Nad on kergesti pumbatavad ja voolavad raskusjõu toimele, kuid ei ole virnastatavad (Pain ja Menzi, 2003). Vedelate orgaaniliste väetiste hulka kuuluvad näiteks vedelsõnnik, virts, digestaat, silomahl ja reovesi.

Vedelsõnnik on veega eemaldatud sõnnik, milles on kuivainet $\geq 5-7,9\%$ (Sõnniku koostise nõuded, 2011).

Virts on loomade väljaheidete vedel osa, mis sisaldab peale uriini veel sõnniku käärimisel tekkinud sõnnikust väljaimbunud vedelike, mis sageli on lahjenenud sademetevetega. Toiteelementide miinimumsisaldus on: N 0,2%, P 0,01% ja K 0,3%. Kuivainesisaldus peab olema vähemalt 0,6% (Sõnniku koostise nõuded, 2011).

Digestaat e kääritusjääk on orgaanilise aine anaeroobse lagunemise jääkmaterjal. Kuivaine sisaldus on $\sim 5\%$ (Tamm, 2010). Digestaat võib olla käärimisjäägina, või separeerituna vedel ja kiulisi materjale sisaldav tahke mass.

Vedelsõnnikuga võrreldes on digestaat homogeensem ja väiksema kuivaine sisaldusega, milles suurem osa lämmastikust on ammooniumlämmastikuna ($\text{NH}_4 + \text{N}$). Orgaanilise aine käärimisprotsessi käigus väheneb algmaterjalis sisalduda võivate haigustekitajate ja umbrohuseemnete kogus (Birkmose ja Pedersen, 2009).

Silomahl on silo käärimisel ja hoidmisel tekkinud jääkvedelik.

Reovesi on üle kahjutuspiiri rikutud ja enne suublasse juhtimist puhastamist vajav vesi (Veeseadus, 2011). Reovee laotamine (sh mittetöötavast virtsalaguunist, mis sisaldab ainult reovett ja pesuvett), põllule on keelatud. Olmereovesi tuleb koguda lahus ülejäänud pesuvetest ja üle anda reoveekäitlejale. Pesuveed (va olmereovesi) võib juhtida töötavasse virtsalaguuni, kus vesi läbib koos piisava koguse virtsaga vajalikud puhastusprotsessid ja alles seejärel võib vee koos virtsaga laotada põllule.

5.2 VÄETISTE OMADUSED

Vedelate orgaaniliste väetiste käitlemistehnoloogia valikut mõjutavateks omadusteks on toiteainete ja kuivaine sisaldus, voolavus, mahumass, settivus, keemiline agressiivsus, kergesti lenduvate ühendite sisaldus ning homogeenus.

Vedelsõnniku toiteainete sisaldus on esitatud jaotises 1.1. Lisaks leidub vedelsõnnikus veel raskmetalle Ni, Pb, As, Cd, desoaineid ja ravimijäake (EMVI, 2012).

Voolavus on sisehõordeteguri e. dünaamilise viskoossu-

se pöördväärtus, st mida viskoossem vedelik seda raskemini voolab. Väikese koguse peenestatud allapanu kasutamise vähendab tunduvalt sõnniku voolavust ja muudab selle pumpamise ja torusüsteemide abil teisaldamise raskemaks (Veinla, 1973).

Vedelsõnniku või virtsa viskoossus võib varieeruda märkimisväärses ulatuses, mistõttu ei ole paisklaotamise laotamislaotust, ühtlust ja hektarikogust lihtne täpselt ennustada. Lohislaoturite ja sisestuslaoturite töölaius on selgelt määratud ja on vähem sõltuv vedelsõnniku viskoossusest ning paagist väljutamise vooluhulgast. Fikseeritud töölaius võimaldab vooluhulga seadistamist lähtuvalt kultuuri toiteainete tarbest (ALFAM, 2002). Sama kuivainesisalduse juures on veisesõnniku viskoossus suurem kui seasõnnikul (Lichtfouse jt, 2011).

Viskoossus – füüsikaline suurus, mis iseloomustab vedeliku või gaasi sisehõordumist. Eristatakse dünaamilist ja kinemaatilist viskoossust (ENE). Viskoossus on vedelike omadus takistada oma osakeste liikumist üksteise suhtes. Viskoossuse toimet on lihtne ette kujutada laminaarsel voolamisel, kui vedeliku kihid liiguvad üksteise suhtes erineva kiirusega. Nad libisevad üksteise peal ja nende libisemispinnas tekib hõõrdumine, mis püüab takistada nende omavahelist liikumist. Mida suurem on takistav jõud, seda vaevalisem on vedeliku voolamine. Vedeliku viskoossus on sõltuv vedeliku temperatuurist ja rõhust. Temperatuuri tõustes viskoossus väheneb, rõhu tõusmisel aga suureneb (WIKI). Laminaarne voolamine on selline vedeliku voolamine, kus vedeliku osakestel on vaid voolusuunaline kiirus. Et toru seintega kokku puutuvad vedeliku kihid on seinte poolt hõõrdumise tõttu pidurdatud, siis voolukiirus toru telje suunas suureneb ja on teljel maksimaalne (WIKI).

Fraktsioneerimine on protsess, mis lahutab ainete segu väiksemateks lähedaste füüsikaliste omadustega portsjoniteks (fraktsioonideks) nii, et mingi komponendi suhteline sisaldus igas järgnevas fraktsioonis suureneb või väheneb (WIKI).

Kuivainesisaldus

Vedelsõnniku kuivainesisaldus (KA) kõigub aasta vältel suures ulatuses. Aastate keskmine, mis on leitud ettevõtete sõnnikuproovide analüüside andmeil, on esitatud tabelis 1.1. Võrdlusena näiteks Saksamaal arvestatakse puhtalt rohumaal põhineva veisekasvatuse puhul vedelsõnniku kuivainesisalduseks 6,0% ja rohumaal-silomaisi ettevõttes 7,5% (Wendland jt, 2011).

Soovitav suurim kuivainesisaldus vedelväetises lähtuvalt tehnoloogiast on: paisklaotamisel kuni 12, lohistaotamisel kuni 9 ja sisestuslaotamisel kuni 6% (PVT, 2007).

Mahumass

Prof. Vambola Veinla (1973) poolt avaldatud andmeil oli Eestis veiste vedelsõnniku mahumass hoidlas keskmiselt 1020 kg/m³ ja sigade vedelsõnnikul 1015 kg/m³.

Kanada farmide andmete põhjal on koostatud sea- ja veisesõnniku kuivainesisalduse ja sõnniku mahumassi vahelised seosed (Landry, 2005):

veisesõnnikul

$$\rho = 1000 + 14,6k - 2,38k^2 + 0,0367k^3 \quad (R^2 = 0,93) \text{ ja}$$

seasõnnikul

$$\rho = 1000 - 11,2k + 1,19k^2 - 0,0235k^3 \quad (R^2 = 0,83).$$

Valemities on ρ mahumass, kg/m³ ja k on kuivainesisaldus, %. Kirjeldatuse protsendi R^2 väärtused on toodud valemi kasutamisel kuivainesisalduse 0–50% korral.

Nende seoste põhjal on 5% ja 8% kuivainesisaldusega veisesõnnikul mahumassid vastavalt 1018 ja 983 ning seasõnnikul 975 ja 983 kg/m³.

Homogeensus e omaduste ühtlus

Hoidlas toimub vedelsõnniku kihistumine, kuna osa komponente on vedelsõnniku keskmisest väiksema ja osa suurema mahumassiga. Kergemad osised tekitavad pinnakoorigu ja raskemad osised sette. Sea vedelsõnnikule koorikut üldiselt ei teki, küll aga on sellel tihke, raske põhjasete. Hoidlas seisval veise vedelsõnnikul on aga tänu seedimata kiudainele ja allapanu osakestele lisaks põhjasetele ka koorik.

Laotatav sõnnik peab olema homogeenne, et saavutada taimede ühtlane toitumine. Seetõttu on enne laotamist oluline vedelsõnnik korralikult läbi segada. Ühtlaselt segatud vedelat orgaanilist väetist on lihtsam doseerida ja laotada (Maves, 2005).

Settivus

Laborites tehtud katsed näitavad, et seasõnniku, mille KA sisaldus on 2–4%, täielikuks settimiseks kulus 1 h. 6% KA sisaldusega sea vedelsõnniku täielikuks settimiseks kulus üle 4 h (see oli maksimaalne mõõtmise aeg), nii nagu ka 1–0,5% KA sisaldusega vedelsõnnikus.

Settimine – ehk kuhjumine ehk kogunemine (vanemas kirjanduses ka sedimentatsioon) on protsess, mille käigus liikuvad setted jäävad paigale ehk settivad. Settida võivad kõikvõimalikud purdsetted, aga ka mineraalsed ühendid vesilahustest. Settimiseks loetakse ka surnud organismidest pärineva orgaanilise aine ladestumist (WIKI). Settimise põhjuseks on suspensiooni vedeliku tihedusest suurema tihedusega tahke fraktsiooni vajumine anuma põhja.

Veisesõnniku kuivaine settimine on oma maksimumi lähedal ca 1,5 h pärast.

Kuna fosforit sisaldub peamiselt vedelsõnniku väikestes osakestes, siis settib see 50% ulatuses 4 h jooksul ja 75% ulatuses 48 h jooksul.

Samas üldlämmastiku settimine ei kasva koos settimise ajaga.

Kuna kaalium ja ammoonium (NH₄⁺) lahustuvad sõnniku vedelas fraktsioonis, siis need enamuses ei setti (Lichtfouse jt, 2011).

Seasõnnikus moodustavad raskemad ja suuremad osakesed põhjakihis raske sette, mille kohale jääb hästi voolav vedelik.

Sööda liik ja jahvatusjämedus mõjutab settivuse iseloomu. Niiske jahvatatud maisiterade puhul tekkib sea vedelsõnnikus setet suhteliselt vähe. Kuivatatud maisiterade ja odra puhul tekkib setet rohkem. Samuti tekib rohkem setet täiskasvanud nuumikute puhul võrreldes põrsaste ja kesikutega. (West & Turnbull, 2000).

Kergesti lenduvate ühendite sisaldus

Üle 90% üldisest ammoniaagi heitkogusest Euroopas on seotud põllumajandusega ja sellest kogusest 30–50% seostatakse orgaaniliste väetiste põllule laotamisega (Sintermann jt, 2011).

Lämmastik on sõnnikus nii mineraalses kui ka orgaanilises vormis. Mineraalne lämmastik, põhiliselt ammooniumioonidena (NH₄⁺) on taimede poolt kergesti omastatav, kuid ammoniaagina (NH₃) kergesti atmosfääri lenduv.

Atmosfääri lendub ka dilämmastikoksiid (N₂O), mis tekib pärast vedelsõnniku mulda sisestamist nitrifikatsiooni ja denitrifikatsiooni käigus (Leick, 2003).

Sõnniku kogust ja toitainete kontsentratsiooni säilitusperioodi kestel mõjutab orgaanilise aine lagunemine käärimisprotsessi käigus, millega kaasneb intensiivne gaasiliste ühendite (CO₂, NH₃, CH₄, N₂O) lendumine. Sellest tulenevalt võib hoidlasse ladustatud tahesõnnik aastase säilitusperioodi jooksul kaotada oma massist kuni 50% (Kaasik jt, 2002).

Sea ja veise vedelsõnnikud sisaldavad ammooniumlämmastikku erinevas koguses. Põllumajandusuuringute Keskuses 2009–2012. aastal analüüsitud sõnnikuproovides oli vedelsõnniku ammooniumlämmastiku keskmine sisaldus järgmine: veiste omas 1,3 kg/t ja sigade omas 3,0 kg/t. Ammooniumlämmastiku sisaldus erinevates sõnnikutes on toodud tabelis 1.1.

Vedelsõnniku happelisus

Vedelsõnniku pH on neutraalsele lähedane, vahemikus 6,5–8. Sõnniku happelisusest sõltub olulisel määral ammoniaagi lendumine sõnnikust. Jaotises 5.5.2.2. on antud ülevaade sõnniku hapestamise tehnoloogiast, nende kasutamise eesmärk on vähendada ammoniaagi lendumist.

Tule- ja plahvatusohtlikkus

Kirjanduse andmeil on olnud juhtumeid, kus sigalates

vedelsõnnikust eralduvad gaasid on süttimise toimet plahvatanud, ja tekitanud hoonetele märkimisväärseid purustusi. USA-s on seda probleemi mõnevõrra uuritud ja leitud, et üheks plahvatusohtlikkuse näidustuseks on sõnniku vahutamine. Kõikidel juhtudel oli tegemist respõranda aluse sügava kaevuga, kus sõnnik vahutas. Sageli olid loomad laudast välja viidud ja sõnnik jäänud kaevu. Lauda ventilatsioon oli välja lülitatud või minimaalne. Vahu tekkimine võtab aega mõnest kuust kuni aastani, kuid vahu olemasolul peab olema ettevaatlik. Vaht takistab metaanil sõnnikust väljuda ja gaas jääb vahu sisse.

Vedelsõnnikus on plahvatusohtlikeks gaasideks metaan, divesiniksulfiid ja fosfiin. Sõnniku peal olev vaht võib sisaldada 50–70% metaani ja kuni 250 ppm vesiniksulfiidi. Vahu lõhkumisel gaas vabaneb ja tekib olukord, kus plahvatuses peab ühest sädemest. Uuritud juhtudel järgnes plahvatus vahukihi lõhkumisele kas segamise või veega uhamise teel. Gaasi süttimise põhjuseks oli kas kütte- või keevitusseade (Vansickle, 2010).

Divesiniksulfiid e väävelvesinik on normaalrõhul värvitu gaas. Veefaasist gaasifaasi lendunud divesiniksulfiid põhjustab teravaid lõhnaprobleeme ning on inimestele tuntav väga väikestel kontsentratsioonidel. Suurematel kontsentratsioonidel on divesiniksulfiid värvitu gaas, mis on inimesele eluohtlik. Gaasiline divesiniksulfiid võib inimesele põhjustada kontsentratsioonidel 10 ppm peavalu, iiveldust ja silmade ärritust. Kontsentratsioonidel üle 100 ppm, põhjustab divesiniksulfiid tõsiseid hingamisprobleeme, ning inimesel kaob lõhnataju. Kontsentratsioonidel üle 300 ppm põhjustab gaasiline divesiniksulfiid kiiresti surma.

Metaan on kergestisüttiv ja plahvatusohtlik, värvitu ja lõhnatu gaas ning mõõteriistadeta on seda võimatu avastada ja mõõta. Metaani pikaajaline madal kontsentratsioon võib ärritada hingamiselundeid ja põhjustada nägemishäireid. Metaan on õhust kergem, ning tõuseb kiiresti üles. Metaani võib kõige sagedamini leida katuse all, kinnistes nurkades ning ta tekib tavaliselt palava ilma korral puuduliku ventilatsiooniga kohtades.

Fosfiin on värvitu, toksiline, kergesti süttiv gaas, puhtal kujul lõhnatu, õhust väiksema erikaaluga ja hajub kergesti. See gaas on väga mürgine kõikidele elusolenditele. Fosfiin moodustub surnud taim- ja loomorganismide mädanemisel

Süsinikdioksiid e süsihappegaas ei ole mürgine, aga seob hapnikku ja põhjustab lämbumist. Kuna see on värvitu ja lõhnatu gaas, on seda võimalik avastada ainult detektorite abil. Kuna ta on õhust raskem, on kontsentratsioon tavaliselt suurem hoidla põhjas. Tavaliselt ei leidu süsihappegaasi surmavates kogustes.

Ammoniaagi kohta vaata jaotis 3.5.

Toksilisus (Leola jt, 2007).

Vedelsõnnikus võib suletud süsteemide korral esineda eluohtlikke toksilisi gaase väävelvesinikku, ammoniaaki, süsinikdioksiidi ja metaani. Eriti ohtlik nendest on väävelvesinik. Mürgised gaasid on kõige ohtlikumad kaetud hoidlate korral, kui toimub sõnniku segamine, pumpamine ja tühendamise. Muul ajal on mürgiste gaaside teke väike ning ventilaatorid või loomulik ventilatsioon suudavad tagada normaalse taseme. Kõik hoidlasse ja pumplasse sissepääsud peab varustama vastavate hoiatussiltidega

Vähendamaks sõnnikugaaside ohte, peaks

- hoidma loomad ja inimesed eemal sõnniku segamise ajal;
- ventileerima pumplaid ja hoidlaid paar tundi peale sõnniku segamist;
- varustama ventilatsioonisüsteemid alarmseadmega;
- varustama ehitised varuventilatsiooni võimalusega elektrikatkestuse puhuks;
- varustama pumpamistorud haisulukkudega ning takistama gaasi tagasivalgumist hoonetesse;
- keelama suitsetamise ja lahtise tulega ümberkäimise hoidlate ja pumplate läheduses.

5.3 KÄITLUSTEHNOLOOGIAD

Vedelsõnniku vedu, laotamine põllule ja muldaviimine võib toimuda nii otseveo- (sama masin transpordib ja laotab) kui ümberpumpamistehnoloogiaga (vedelsõnniku transpordiks ja laotamiseks on erinevad masinad). Etteveo ja laotamismasinat ooteaegade vähendamiseks kasutatakse vaheladustamist põllul kas vastavates vahemahutites, selleks kohandatud merekonteinerites või silindrilistes paakides. Vaheladustusmahutil võib olla pump, et vedelsõnnikut ettevedavast paakhaagisest ümberpumbata.

Vedelsõnniku muldaviimiseks kasutatakse sisestus- või sõbastusseadisega vedelsõnnikulaoturit; või laotatakse vedelsõnnik lohis- või paisklaoturiga põllu pinnale ja segatakse mullaga täiendava tööoperatsiooniga.

Reegliina on vedelsõnnikulaoturid paagiga, mida tuleb perioodiliselt täitmas käia ja see tingib ajakadusid sõidule ning laadimisele. Lisaks kaasneb täis paagiga põllul sõites oluline muldade tallamine. Alternatiiviks on voolikitehnoloogia – vedelsõnnik pumbatakse pideva protsessina hoidlast või vahemahutist voolikute kaudu põllul töötavasse laoturisse. Laotamise ajal lohistab laotur sadade meetrite pikkust voolikut mööda põldu enda järel, laoturil endal paaki ei ole.

Voolikisüsteemid on enamasti teisaldatavad ja vajadusel rakendatakse vahepumpasid. Kasutatakse ka statsionaarsed torustikke kuni 8 km pikkuste vahemaade korral. Sellest suuremate kauguste korral kasutatakse üldiselt paakhaagiseid, mis veavad vedelsõnniku põllu servale vahemahutisse, kust väetis pumbatakse vooliku kaudu laoturisse.

Voolikitehnoloogia eeliseks on mulla väiksem tallamine, puuduseks on vooliku takistamatuks liikumiseks vajalik eelnev pinna planeerimine. Sõnnikuhoidla lähedastel põldudel on võimalik saavutada suur laotamistootlus. Väikeste üksikute põldude jaoks on see meetod on vähem sobiv, sest pärast põllu töötlemist tuleb voolik tühendada ja transpordiks kokku kerida.

5.4 TEHNOLOOGIA VALIKUT MÕJUTAVAD TEGURID

Viimastel aastatel on Eestis rekonstrueeritud hulgaliselt vanu ja ehitatud uusi vedelsõnnikusüsteemidega loomapidamishooneid ning oluliselt on suurenenud käitlemist vajava vedelsõnniku kogus. Võrreldes tahesõnnikuga on vedelsõnniku kasutusvõimalused paindlikumad. Vedelsõnnikut saab teisaldamiseks pumbata torude või voolikute kaudu. Tahesõnniku laadimiseks kasutatavate tsüklilise toimega laadurite ning laoturite konstruktsioon on mõnevõrra keerukam. Vedelsõnnikuga on võimalik pealtväetada kasvavaid kuni 30 cm kõrguseid kultuure.

Vedelsõnniku laotamise eeliseks võrreldes tahesõnnikuga on suur tootlikus (sõltuvalt seadmest võib laotamislaius olla 8–24 m), põldude (mulla) suhteliselt vähene tallamine, eriti tehnoradade olemasolul ning doseerimise täpsus. Puuduseks aga suurem transpordikulu ning intensiivne lõhnaainete ja ammoniaagi lendumine.

Tootmiskulude minimeerimise ja mullakaitse vajaduse tõttu on hakanud künni asemel järjest enam levima mulla pindmine harimine. Pindharimise masinate suure tootlikkuse tõttu sobivad need laotatud vedelsõnniku kiireks segamiseks mulda. See võte vähendab ammoniaagi lendumiskadu, soodustab orgaanilise aine lagunemist ja ergutab umbrohuseemneid tärkama. Sobiva laotamisviisi valikul on vedelsõnnikuga väetamine võimalik nii künni, pindharimise kui ka otsekülvi tehnoloogia korral (Viil jt, 2008).

Vedelsõnniku käitlemise mõju mullale (Viil, 2009)

Vedelsõnniku laotamise kõige kiiremad ajad on enne külvi aprillis ja sügisel pärast viljakoristust. Ohud, mis sellel ajal võivad vedelsõnniku laotamisega kaasneda, on mulla tihenemine ja mulla struktuuri halvenemine. Mõlema tekkimise oht on suur siis, kui muld on märg. Eriti ohtlik on see keskmise ja raske lõimisega muldadel. Kõige enam tihendatakse mulda agregaadid rehvidega ülesõidetaval alal s.o. rehvide jälgedes. Taimede normaalne kasv on häiritud, kui mulla lasuvustihedus ületab 1,40–1,45 Mg/m³. Tootmispõldudel on see näitaja olnud aga 1,67–1,73 Mg/m³. Eriti tihenunud on muld põllule peale ja mahasõitute alal. Mullaseisundi taastamiseks tuleks need alad pärast tööde lõpetamist sügavkobestiga üles harida. Kevadisel vedelsõnniku kasutamisel on vaja jälgida mulla niiskust. Kui märjale

keskmise või raske lõimisega küntud liivsavimullale minna vedelsõnnikut laotama muldaviimise seadisega laoturiga, siis mitte ainult ei tihendata mulda vaid ka lõhutakse selle struktuur. Muld kuivab panklikuks. Pankade purustamine nõuab lisatööd. Selle käigus muld tolmustub. Suureneb mulla peenfraktsiooni (agregaadid läbimõõduga alla 2 mm) osa. Vähesel harimise korral on aga ülekaalus suured muldaagregaadid (läbimõõduga üle 5 cm). Kergetel liivsavimuldadel on see oht väiksem. Mullastruktuuri halvenemise oht on väike ka pindmiselt haritud muldadel (kui mulda on segatud eelkultuuri taimejäänustega). Vedelsõnniku laotamist kevadel tulekski alustada nendel põldudel.

Mullaharimine enne vedelsõnniku laotamist aitab vähendada ammooniumi lendumist 40–90% võrreldes harimata mullaga (Sommer ja Thomsen, 1993). Sarnaselt aitab vedelsõnnikul mulda imbuda sõnniku ja mulla segamine. Näiteks vedelsõnniku laotamisjärgsel segamisel 60 mm sügavuses mullakihis aitas vähendada ammooniumi emissiooni 60% (Van der Molen jt, 1990).

Kulude mõju tehnoloogia valikule 2012. aasta andmeil

EMVI põllumajandustehnika ja tehnoloogia osakonna teadurid on koostanud mudeli laotamistehnoloogia kasutamise otstarbekuse hindamiseks laotamisega kaasnevat ammooniumi lendumist arvesse võttes. Mudeli abil hinnati käitlemiskulusid sõltuvalt hoidla ja põllu vahelisest kaugusest erinevate laotamistehnoloogiate ja transpordimeetodite korral. Alandmed, millele hinnang tugineb on järgmised.

Ettevõttes aastas käideldava vedelsõnniku kogus on 6000 m³. Hoidlas paikneb elektriagamiga pumpsegisti jõudlusega 4,5 m³/min ja hinnaga 4 600 €. Vedelsõnnikut segatakse 3 tundi enne väljavedu ja selle kestel. Arvutusnäites on kõikide laotamistehnoloogiate korral võrreldud vedelsõnniku hoidlast põllule veo ning 30 m³/ha normiga laotamise kahte varianti:

- vedelsõnnik veetakse ja laotatakse haagislaoturiga ;
- vedelsõnniku ettevedu põllu servale paakautodega, ümberpumpamine laoturi pumbaga ja laotamine haagislaoturiga.

Haagislaoturi paagi mahutavus on kõikide arvutuste korral 15 m³. Paiskseadisega (töölaius 8 m) haagislaotur (hind 32 500 €) on agregateeritud 100 kW traktoriga (hind 77 000 €). Lohisvoolikseadisega (töölaius 12 m) haagislaotur (hind 43 500 €) on agregateeritud 120 kW traktoriga (hind 92 000 €). Lõikeketastega sisestuslaotur töölaieuga 6 m (hind 44 000 €) on agregateeritud 140 kW traktoriga (hind 99 000 €). Vedrupiiseadisega (töölaius 4 m) haagislaotur (hind 40 900 €) on agregateeritud 160 kW traktoriga (121 000 €). Muldasegava ketasseadisega (töölaius 4 m) haagislaoturi (hind 46 000 €) korral on arvutusse valitud 200 kW võimsusega traktor (hind 129 000 €).

Vedelsõnniku paakautodega hoidlast veo teenuse maksumus kuni 7 km kaugusele põllule on erinevate teenuse-

pakkujate keskmisena 1,1 €/m³. Suurema veokauguse korral lisandub 0,06 €/(m³ km).

Arvutustes kasutati alajaotise 5.5.8.4 tabelis 5.8 esitatud ammooniumlämmastiku kao väärtusi erinevate laotamistehnoloogiate korral. Ammoniaagi lendumisest tingitud kadu on esitatud tabelis 5.1, kusjuures arvutustes võeti aluseks, et veise vedelsõnnikus on 1,3 kg/m³ ammooniumlämmastikku ja lämmastiku hind on 0,94 €/kg.

Tabel 5.1. Ammoniaagi lendumisest tingitud kadu erinevate laotamistehnoloogiate korral

	Ammoniaagi lendumisest tingitud kadu	
	N, kg/m ³	€/m ³
Paisklaotamine, mulda segamine 12 tunni jooksul	0,72	0,68
Lohisvooliklaotamine, muldasegamine 12 tunni jooksul	0,13	0,12
Lõikeketaslaotamine	0,13	0,12
Vedrupii- ja randaallaotamine	0,07	0,06

Tulemused. Tabelis 5.2 ja 5.3 on toodud vedelsõnniku käitlemise kulu, kus on arvestatud ka vedelsõnniku veokulu sõltuvalt hoidla ja põllu vahelisest kaugusest. Paisk- ja lohisvooliklaotamisel on arvestatud täiendav kulu vedelsõnniku mullaga segamisele rullrandaaliga (34 €/ha).

Arvutustest selgub, et kui ammoniaagi lendumiskadu ei arvestata (tabel 5.2), siis

- otseveo (laoturiga vedu) korral on sõltumata veokaugusest kõige odavam paisklaotamine ;
- ümberlaadimise (ettevedu paakhaagisega) korral on sõltumata veokaugusest kõige odavam vedrupiidega segamisaotamine;
- alates 3 km kaugusest on võrreldes otseveoga odavam kasutada ümberlaadimisega tehnoloogiat.

Tabel 5.2. Vedelsõnniku käitlemiskulu €/m³ sõltuvalt veokaugusest ja veo- ning laotamisvariantidest, arvestamata ammoniaagi lendumiskadu (2012. a andmed)

Veokaugus, km	Laotamisvariandid				
	paisk	lohisvoolik	lõikeketas	vedrupii	randaal
Vedu laoturiga					
1	3,14	3,69	3,27	3,24	3,31
3	3,93	4,54	4,18	4,24	4,40
5	4,72	5,40	5,09	5,25	5,49
10	6,71	7,56	7,37	7,77	8,22
15	8,69	9,72	9,66	10,29	10,95
Vedu paakhaagistega					
1	3,77	4,28	3,82	3,73	3,76
3	3,79	4,29	3,83	3,74	3,77
5	3,80	4,30	3,84	3,76	3,78
10	4,09	4,60	4,11	4,02	4,05
15	4,44	4,95	4,43	4,35	4,38

Tabel 5.3. Vedelsõnniku käitlemiskulu €/m³ sõltuvalt veokaugusest ja veo- ning laotamisvariantidest, arvestades ammoniaagi lendumiskadu (2012. a andmed)

Veokaugus, km	Laotamisvariandid				
	paisk	lohisvoolik	lõikeketas	vedrupii	randaal
Vedu laoturiga					
1	3,82	3,81	3,39	3,30	3,37
3	4,61	4,66	4,30	4,30	4,46
5	5,40	5,52	5,21	5,31	5,55
10	7,39	7,68	7,49	7,83	8,28
15	9,37	9,84	9,78	10,35	11,01
Vedu paakhaagistega					
1	4,45	4,40	3,94	3,79	3,82
3	4,47	4,41	3,95	3,80	3,83
5	4,48	4,42	3,96	3,82	3,84
10	4,77	4,72	4,23	4,08	4,11
15	5,12	5,07	4,55	4,41	4,44

Nii paisk- kui lohisvooliklaoturi kasutamisel laotatakse vedelsõnnik maapinnale ja segatakse hiljem mullaharimisriistaga, näiteks rullrandaaliga mulda, kuid sellele vaatamata tekib laotamisjärgselt siiski suur ammoniaagi lendumiskadu.

Kui arvestada ammoniaagi lendumiskadu (tabel 5.3), siis

- otseveo (laoturiga vedu) korral on kõige odavam vedrupiiga segamisaotamine 1 km kauguseni, sealt kaugemale lõikeketaslaotamine;
- ümberlaadimise (ettevedu paakhaagisega) korral on sõltumata veokaugusest kõige odavam vedrupiidega segamisaotamine;
- alates 3 km kaugusest on võrreldes otseveoga odavam kasutada ümberlaadimisega tehnoloogiat.

5.5 KÄITLUSOPERATSIOONID

5.5.1 HOIUSTAMINE

5.5.1.1 Nõuded vedelate orgaaniliste väetiste hoiustamiseks

Vedelsõnniku hoiustamise nõuded on sätestatud Veeseadusega (Veeseadus, 2011). Kõikidel loomapidamishoonetel, kus peetakse üle 10 loomühiku loomi, peab olema lähtuvalt sõnniku liigist sõnnikuhoidla või sõnniku- ja virtsahoidla. Hoidla peab mahutama vähemalt 8 kuu sõnniku ja virtsa. Sõnnikuga kokkupuutuvad konstruktsioonid peavad vastama sõnnikuhoildlatele esitatavatele nõuetele. Kui loomapidaja suunab sõnniku lepingu alusel hoidmisele või töötlemisele teise isiku hoildlasse või töötlemiskohta, peab loomapidamishoone kasutamisel olema tagatud lekkekindla hoidla olemasolu, mis mahutab vähemalt ühe kuu sõnnikukoguse.

Kui sõnnikuhoidla kuulus 1. jaanuaril 2002. a. kasutusel olnud üle viie loomühikuga lauda juurde ning asus nitraaditundlikul alal, pidi hoidla 31. detsembriks 2008. a olema kaetud. Kui laut asub väljaspool nitraaditundlikku ala ja loomühikute arv on üle 10, siis peab hoidla olema kaetud

1. jaanuariks 2013. a (Veekaitseenõuded ..., 2011).

Sõnnikuhoiud on potentsiaalseteks sissekukkumiskohtadeks inimestele, sh eriti lastele, kuid ka loomadele ja masinatele. Eriti ohtlikud on vedelsõnniku- ja virtsahoiud. Kõikidele virtsa- ja vedelsõnnikuhoiudele, mille ülaserava kõrgus maapinnast mõõdetuna on madalam kui 1,2 m, tuleb ehitada täiendav inimeste ja loomade hoidlasse sissekukkumist välistav metallvõrgust või puidust kaitsebarjäär, sissepääsud peavad olema lukustatud ning hoidlal peavad olema hoiatavad sildid, mille kõrgus maapinnast on vähemalt 1,2 m (Leola jt, 2007).

Lubamatu on (Leola jt, 2007):

- kasutada mittetöökorras olevaid hoidlaid;
- kasutada selliseid masinaid-mehhanisme, mis mingil moel võivad kahjustada hoidla konstruktsioone;
- püüda hoiustada rohkem sõnnikut, kui hoidla ruumala võimaldab;
- pumbata virtsahoidlast virtsa välja enne, kui jääkaas on seinte küljest lahti löödud.

Silomahl tuleb veekaitseenõuete kohaselt suunata spetsiaalsesse hoidlasse või virtsahoidlasse. Silo ladustamisel maa peale tuleb alusmaterjalina kasutada veekindlat materjali ja silomahla sidumiseks põhikihti paksuses, mis väldib silomahla keskkonda valgumise. Silomahla hoidla peab mahutama vähemalt 10 l silomahla 1 m³ silohoidla ruumala kohta. (Veekaitseenõuded ..., 2011).

5.5.1.2 Vedelsõnniku hoidlad

PVT vedelsõnniku säilitamiseks on lekke- ja korrosioonikindel, mehhaaniliste-, keemiliste- ning termiliste mõjuritele vastupidav betoon- või teraselementidest mahuti või eelmainitud mõjurite suhtes vastupidav plastikmaterjalist laguun-tüüpi hoidla (joonis 5.1). Väiksema mahutavusega rõngasmahuti sein võib olla ka puidust, kasutatakse sügavimmutatud männipuitu (Leola jt, 2007).

Hoidla võib olla täielikult maa pinnal, osaliselt, või täielikult maa sees.

Hoidla peab olema veekindel ning kaitstud läbikülmutamise eest. Vajadusel teostatakse enne hoidla kasutusele võtmist veepidavuse proov.

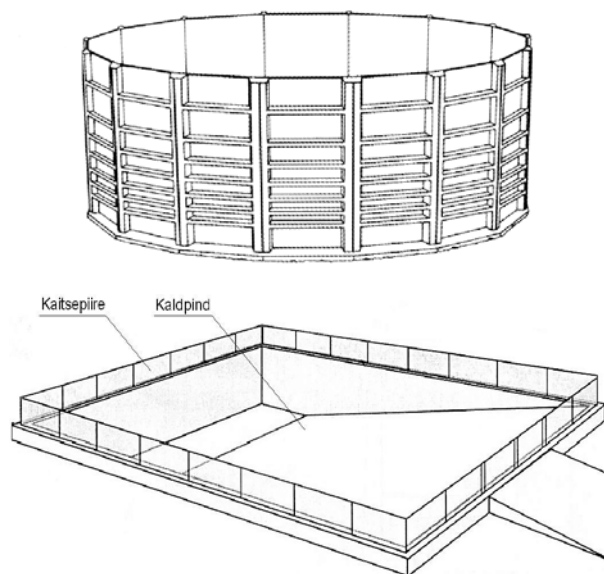
Sõltumata seina konstruktiivsest lahendusest ehitatakse rõngasmahutite põhjad eranditult raudbetoonist.

Rõngasmahutite seinad ehitatakse kas

- monteeritavatest raudbetoonpaneelidest;
- monoliitsetest raudbetoonist;
- emailiga kaetud terasplaatidest;
- roostevabadest terasplaatidest; või
- puidust.

Odavuse ja ehitamise lihtsuse/kiiruse tõttu on Eestis levinud HD-PE kilest laguuntüüpi hoidlad. Puuduseks on materjali purunemisohtlikkus segamisel/pumpamisel. Hoidla sobib eelkõige veiste vedelsõnniku hoiustamiseks,

kuna selle segamine on lihtsam (virts vajub alati põhja ja kuivfraktsioon kerkib pinnale, segurit ei ole seega vajalik purunemisohtlikule põhjale toetada). Plastikmaterjali korral tuleb arvestada päikese ultraviolettkiirguse kahjuliku mõju enamikele plastikutele (Leola jt, 2007).



Joonis 5.1. Vedelsõnniku rõngasmahuti ja laguun-tüüpi hoidla (Leola jt, 2007)

PVT on hoidla katmine kaane, katuse, tendi, present- või plastkangaga, samuti ujuvkattega, mille materjaliks võib olla hekselpõhk, turvas, kergkruus, plastikgraanulid, rapsiõli vms saasteainete emissiooni vähendav materjal.

Katmata ringja põhiplaaniga betoonelementidest või teraskonstruktsioonidest poolvedel- ja vedelsõnnikuhoiula korral on lämmastiku emissioon 30–40%, ujuvkatte korral 5–20% ja jäiga katte kasutamisel ~5%. Avatud pinnaga laguun-tüüpi vedelsõnnikuhoiulast on lämmastikühendite lendumine suurim, ulatudes 40–60%-ni. Kaetud laguun-tüüpi hoidlast on lämmastikuühendite emissioon 20–30% (PVT, 2007).

Veisesõnnikule tekib kattev koorik iseenesest, sigade vedelsõnnik vajab kunstlikku katet (söödana kasutatav jõusööt vajub alati põhja). Katmiseks sobib 10 cm paksune kergkruusa või hekselpõhu kiht, rapsiõli (0,5 cm), sõnnikukihil ujuv kile või õhutihe telkkatus. Suure läbimõõduga hoidlad kaetakse üldjuhul ilmastikukindla telkkatusega, väiksemaid hoidlaid võib katta ka raudbetoonpaneelide või sügavimmutatud puitpaneelidega. Puitpaneelid vajavad täiendavat katmist veetiheda katusekattmaterjaliga (Leola jt, 2007).

5.5.1.3 Vedelsõnniku hoidla ujuvkate majanduslik võrdlus

Järgnevalt on esitatud ringja põhjaplaaniga vedelsõnnikuhoiula, milles hoitakse sea vedelsõnnikut, viie ujuvkate materjali kasutamise majanduslik võrdlus.

Võrreldavateks kattmaterjalideks on: 1) Fibro kergkruus;

2) Hexa-Cover katteplaadid; 3) hekselpõhk; 4) turvas ja 5) rapsiöli.

Algandmed: hoidla siseläbimõõt on 36,5 m, kõrgus 4 m, pindala ~1 046 m² ja mahutavus 4 000 m³. Hoidla mahutab 8 kuu vedelsõnniku koguse ja aastas käib hoidlast läbi seega 6000 m³ vedelsõnnikut.

Katmata hoidla. Hoidlat läbivas 6000 m³ sea vedelsõnnikus, milles on 3,0 kg/m³ NH₄-N (Põllumajandusuuringute Keskuses 2009–2012.a. analüüsitud proovide keskmine), on kokku 18 000 kg NH₄-N, mille emissioonist tingitud keskmine kadu katmata hoidlast on 35% (PVT, 2007), ehk antud juhul 6 300 kg. Lämmastiku hinna 0,94 €/kg korral on rahaline kahju **5922 €/aastas**.

Fibo kergkruus (10–20 mm) – hind 31 €/m³, kogusele üle 35 m³ transport Eesti piires tasuta. Efektiivne kihi paksus on 10 cm. 1,5 m³ kaalub 500 kg (Fibo, 2010). Kui hoidla pindala on ~1046 m², siis kergkruusa kulub 104,6m³ (~35 t), mis maksab 3 243 €.

Kergkruusa kasutamine vähendab emissiooni 90%, siis rahaline kahju ammoniumlämmastiku lendumise tõttu on (100-90)/100 * 5 922 ≈ 592 €.

Igal aastal on soovitatav lisada 10% kergkruusa e rahaliselt 324 €. Hoidla tühjendamisel peaks jääma hoidlasse 30–40 cm vedelsõnnikut koos kergkruusa kihiga, seetõttu väheneb hoidla kasutatav maht. Kergkruusa sattumisel vedelsõnnikupumpa väheneb selle tööiga.

Paigaldusteenus: puhuri abil puistes kergkruusa vahe-laadimiseta paigaldamine (30 m kaugusele ja 15 m kõrgusele masinast) – teenuse hind on 5,5 €/m³. Seega 104,6 m³ paigaldus maksab 575 €.

25 aasta otsekulud 3243 + 575 + 24 * (324 + 58) = 12 986 €, kuna esimesel aastal lisa (324 + 58) € ei ole vaja. Kulu aastas on 12 986 / 25 = 519 €/a.

Seega ammoniaagi emissiooni ja kattega seotud kulude summa aastas 592 + 519 = **1 111 €**.

Siia ei ole arvestatud pumpade remondikuludid.

Hexa-Cover katteplaadid – hind 40 €/m², sisaldab transporti objektile Eesti piires. Kasutusiga eeldatavalt 25 aastat (Hexatec, 2011). Hoidla pindala ~1 046 m² korral on plaatide maksumus 41 840 €. Kui kate vähendab emissiooni 95% (Hexatec, 2011), siis rahaline kadu ammoniumlämmastiku lendumise tõttu on (100-95)/100 * 5 922 ≈ 296 €.

25 aasta jookusl on kulu 41 840 / 25 = 1 674 €/a.

Seega kulude summa aastas 296+1 674 = **1 970 €**.

Ei ole teada, kui palju tuleb aastas uusi katteelemente lisada. Kuna tiiviksegurid lõhuvad mõnevõrra katteelemente, on seetõttu soovitatav kasutada pumpsegurit.

Hekselpõhk – katmine põhuga 0,35 €/m² (Jakobsen, 2002). Kasutusaeg on ca 6 kuud, ehk 2 korda aastas on vaja uuendada (0,7 €/m² aastas). Hekselpõhu kihi paksus peaks olema 10–15 cm. Hoidla pindala ~1 046 m² korral katmise maksumus ~732 € aastas.

Põhk vähendab emissiooni ca 60%, seega rahaline kahju ammoniumlämmastiku lendumise tõttu on (100-60)/100 * 5 922 ≈ 2 369 €.

Seega kulude summa aastas

2 369+732 = **3 101 €**.

Hekselpõhu kasutamisel kattematerjalina suureneb süsiniku ja metaani emissioon (CO₂, CH₄), väheneb NH₃ emissioon, samas suureneb N₂O emissioon (Dorno jt, 2010).

Tuuliste ilmadega osa hekselpõhust lendub. Kui põhk ostetakse ettevõttesse sisse, siis võiks arvestada põhu taime-tooteelementide sisaldust. Põhus sisaldub mitmeid taimetoelemente, mis suurendavad vedelsõnniku väetisväärtust. Keskmiselt sisaldub ühes tonnis talivilja põhus: 4 kg N, 1,1 kg P ja 10 kg K (TTVK, 1996).

Kui N – 0,94 €/kg, P – 2,03 €/kg ja K – 0,79 €/kg, siis ühes tonnis põhus sisalduva NPK rahaline väärtus on 13,89 €. Kui hoidla katmiseks kulub põhku ~102 m³, siis mahumassi 65 kg/m³ korral suureneb vedelsõnniku väetisväärtus 92 €.

Kui põhk aga oma põldudel koristatakse ja hiljem koos vedelsõnnikuga sinna tagasi viiakse, siis ei ole vaja põhus sisalduva NPK väärtust arvestada.

Turvas – hind 9,97 €/m³. 15–20 cm paksune kiht vähendab ammoniumlämmastiku emissiooni 70% (Portejoie jt, 2003).

Hoidla pindala ~1046 m² korral on 15 cm kihi jaoks vajalik kogus 157 m³, mille maksumus on 1 565 €. Sellele lisandub turba ettevõttesse transpordi kulu.

Vedu 92 m³ haagisveokiga maksab 0,85 €/km. 10 km veokauguse korral on kulu ~34 €.

Kui emissioon väheneb 70%, siis rahaline kahju ammoniumlämmastiku lendumise tõttu on (100-70)/100 * 5 922 ≈ 1 777 €. Kui üks kord aastas kaetakse, siis on kulu aastas 1 565 € + 34 € = 1 599 €.

Seega kulude summa aastas on

1 777 + 1 599 = **3 376 €**.

Rapsiöli – söödaöli Werolist 800 €/t (tihedus 0,916 kg/l) ~ 0,73 €/l. Efektiivne on 0,5 cm kiht. Kui hoidla pindala on ~1 046 m², siis vajalik kogus 5 230 l ja maksumus 3 818 €.

Rapsiöli kasutamine vähendab emissiooni 85%, järelikult rahaline kadu ammoniumlämmastiku lendumise tõttu on (100-85)/100 * 5 922 ≈ 888 €. Kui igal aastal panna uus kiht, siis on kulu aastas 3 818 €.

Seega kulude summa aastas

888 + 3 818 = **4 706 €**.

Erinevate katete korral on arvutuslikud kulude summad (€/aastas):

1) Fibo kergkruus	1 111;
2) Hexa-Cover katteplaadid	1 970;
3) hekselpõhk	3 101;
4) turvas	3 376;
5) rapsiöli	4 706.

Veise vedelsõnniku korral tekib sõnnikule nn „loomulik koorik“ - (NH_3 -lendumise vähenemine 10–90%), kestvus 2–4 kuud. Loomuliku kooriku tõhusust on raske mõõta,

sest see sõltub kooriku paksusest ja muudest füüsikalistest omadustest (Bicudo jt, 2004). Ülevaade sõnnikuhoidlate kattematerjalidest on esitatud tabelis 5.4.

Tabel 5.4. Ülevaade kattematerjalidest (English ja Fleming, 2006)

Kattematerjal	Kihi pak- sus, cm	NH_3 -lendumise vähenemine, %	Haisu eraldumi- se vähenemine, %	H_2S -lendumise vähenemine, %	Kasutusiga	Maksumus, €/m ²
<i>Hingavad katted</i>						
Põhk	5–20	25–85	40–90	80–95	6 kuud	0,15–0,60
Geotekstiil		25–50	15–75	30–90	3–5 aastat	0,75–1,80
Kergkruus	10	65–95	60–90	64–84		9,75
Perliit	10	63–91	30–93		10 aastat	0,98–1,50
Tahke vaht	0,5	55–70	70–82		10–20 aastat	
Õli (raps)	0,3–0,6	85			12 kuud?	
Loomulik koorik	7–10	10–90	10–90	10–90	2–4 kuud	
<i>Mittehingavad katted</i>						
Kilekuppel (all üle- rõhk)		95	95	95	10 aastat	4,35–11,25
Ulpiv kile (all ala- rõhk)		95	95	95	5–10 aastat	
Ulpiv kile		60–95	95	90–95	10 aastat	1,88–3,0
Betoonkate			95		30–50 aastat	81
Puidust/ terasest kate		95	95		10–15 aastat	36

5.5.2 ÜMBERTÖÖTLEMINE

5.5.2.1 Ülevaade ümbertöötlemise viisidest

Vedelsõnniku ümbertöötlemise eesmärgid on järgmised: kihistumise vältimine, ebameeldiva lõhna vähendamine, patogeensete mikroorganismide, parasiitide ja umbrohus-eemnete idanemisvõime hävitamine ning väetisväärtuse tõstmine.

Ümbertöötlemine võib olla mehaaniline, termiline, bio-
loogiline, keemiline või eelnevate viiside kombinatsioon. Vedelsõnniku põhilised ümbertöötlemisviisid on (PVT, 2007):

- separeerimine;
- aereerimine (õhustamine);
- anaeroobne lagundamine;
- keemiline ja/või bioloogiline töötlemine.

Seppureerimisel sõnnik eraldatakse mehhaaniliselt tahedaks (KA 15–30%) ja vedelaks (4–8%) fraktsiooniks (vt ka 6.3.2). Vedelamat on lihtsam transportida vabavoolu või pumpamise abil. Eraldatud tahedamat osa on võimalik kasutada allapanuna, laotada põllule, kompostida või müüa. Alternatiivne süsteem eraldab värske sõnniku taheda ja vedela fraktsiooni. Vedelamat setitatakse edasi settekaevus. Seda protsessi nimetatakse selgendamiseks. Lõpuks aereeritakse dekanteeritud vedelikku pikaajase hoiustamise käi-

gus. Sellega kaasneb mõningane haisu vähenemine ja töödeldud vedelikku on tehniliselt võimalik vihmutada põllule kõrgsurvepihustiga.

Aereerimise (õhustamine) eesmärgiks on vähendada sõnnikus ammooniumlämmastiku sisaldust ja lõhnaainete eritumist. Aereerimisel vedelsõnnik laguneb aeroobselt.

Anaeroobne lagundamine (biogaasi tootmine) – anaeroobsete protsesside tulemusena viiakse suur osa vedelsõnniku ammooniumlämmastikust mittelenduvasse vormi, väheneb lõhnaainete emissioon ning langeb orgaanilise aine sisaldus. Anaeroobse käärimise saaduseks on biogaas ja käärimisjääk (digestaat).

Keemiline ja/või bioloogiline töötlemine eesmärgiks on saaste- ja lõhnaainete emissiooni vähendamine, vedelsõnniku füüsikaliste omaduste muutmine, toitainete sisalduse suurendamine ja/või patogeensete mikroorganismide hävitamine. Preparaadid, mida kasutatakse vedelsõnniku keemilisel ja bioloogilisel töötlemisel jagunevad:

- ureaasi inhibiitorid;
- pH regulaatorid;
- oksüdeerijad;
- ensüümid;
- bakterkultuurid.

Ureaasi inhibiitorid pidurdavad ensüümi aktiivsust, mille toimele mikroorganismide elutegevuse tulemusena sõnnikus olev karbamiid laguneb ja tekib ammoniaak. Siia rühma kuuluvad näiteks fosforamiidid.

pH-regulaatoritena kasutatakse nii anorgaanilisi happeid (fosfor-, sool- ja väävelhape) kui ka kaltsiumi ja magneesiumi soolasid. Happed pH alandajana ja sellest tulenevalt sõnniku keskkonnaohtlikkuse vähendajana annavad häid tulemusi. Kaltsiumi- ja magneesiumisoolad, reageerides sõnnikus olevate karbonaatidega, alandavad selle pH-d. Kaltsiumi- ja magneesiumisooli soovatakse kasutada koos teiste keemiliste või bioloogiliste lisanditega.

Oksüdeerivatest ühenditest kasutatakse vesinikperoksiidi (H_2O_2), kaaliumpermanganaati ($KMnO_4$) ja kaaliumkloriidi ($KClO_3$). Nimetatud ühendite lisamisel sõnnikule vabaneb hapnik, mida kasutavad aeroobsed mikroorganismid, anaeroobsed mikroorganismid inaktiveeruvad ning lõhnaained oksüdeeruvad.

Ensüümid pärsvivad ühte või mitut sõnnikus toimuvat mikrobioloogilist protsessi.

Bakterikultuure kasutatakse laialdaselt anaeroobse käärimise suunamisel biogaasi reaktorites. Metaani tootvate bakterikultuuride lisamisel suureneb metaani saagis. Ammoniaagi lendumise vähendamiseks vedelsõnnikuhoidlatest kasutatakse spetsiifilisi ammoniaaklämmastikku siduvaid bakterikultuure.

Ümbertöötlemise eelised:

- massi vähenemisega kahanevad ka transporditavad ja laotatavad kogused ning põldu tallatakse vähem;
- väiksema toiteainete koguse (lahjema väetise) korral on vähem põllumaad tarvis separeeritud vedelfraktsiooni laotamiseks;
- võimalus müüa kõrvalprodukte; ümbertöötlemisprotsessid, mida kasutatakse energia, kompostide või allapanu tootmiseks võivad aidata tasa teenida ümbertöötlemiskulusid ja anda täiendavat tulu;
- patogeeni sisalduse vähendamine. Loomse päritoluga patogeeni sisalduse vähendamine lihtsustab bioturbe tagamist ja vähendab terviseriske.

5.5.2.2 Vedelsõnniku hapestamine

Enamike sõnniku käitlemise operatsioonidega (hoiustamine, segamine, transportimine, laotamine jne) kaasneb sõnniku pinnalt ammoniaagi lendumine. Sõnnikust eralduva ammoniaagi heitkoguse vähendamiseks on soovitatud mitmesuguseid meetmeid: mõjutada lämmastiku eritumist söödaratsiooni koostise kaudu, vähendada lenduva ammoniaagi osa sõnnikus ja eraldada uriini fekaalidest, et vähendada ureaasi ja uriini kokkupuudet (Ndegwa jt, 2008).

Ammoniaagi kontsentratsioon sõnnikus sõltub ammoooniumi ja ammoniaagi vahelisest keemilisest tasakaalust.

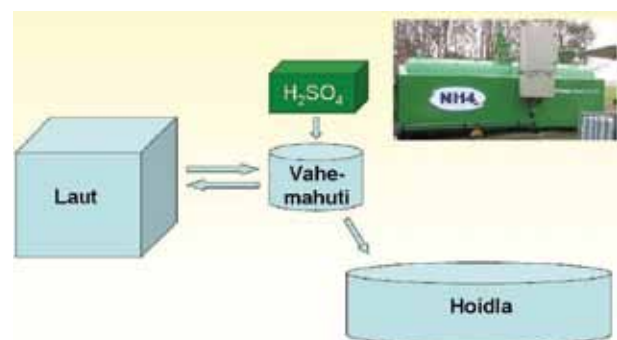
Sõnniku pH vähendamine ehk happelisuse suurendamine nihutab mittelenduva ammoooniumi (NH_4^+) ja lenduva ammoniaagi tasakaalu ammoooniumi kasuks (Ndegwa jt, 2008). Ammooonium kui sool on vedelsõnnikus märksa stabiilsem kui gaasiline ammoniaak.

Ammoniaagi eraldumine on suurim siis, kui vedelsõnniku pH on 7–10. Ammoniaagi lendumine väheneb kui pH on alla 7 ja pH väärtuse 5,5 korral mõõdetav vaba ammoniaak peaaegu puudub. Näiteks sea- ja veise vedelsõnniku hapestamisel väävelhappega (H_2SO_4) väheneb ammoniaagi lendumine järk-järgult ja peatub täielikult sea vedelsõnniku pH 5 ja veise vedelsõnniku pH 4 korral (Ndegwa jt, 2008).

Hapestamist võidakse teha kolmes kohas – laudas, hoidlas või laotamisel.

Laudas hapestamise tehnoloogia (joonis 5.2)

Vedelsõnnikule lisatakse enne hoiustamist eelkogumispaaigis 5 kg/t 96%-list väävelhapet, tänu sellele alaneb pH 7,5-lt 5,5-le. Seejärel pumbatakse osa vedelsõnnikust tagasi sõnnikukanalitesse ning osa vedelsõnniku hoidlasse. Sellisel viisil väheneb ammoniaagi eraldumine nii laudast kui vedelsõnniku hoidlast (MTK, 2011). Hapestatud vedelsõnnikut tuleb vahemahutis korralikult ventileerida. Happe lisamist kontrollib automaatika, tõrgete korral annab süsteem alarmi (BalticDeal, 2012b).



Joonis 5.2. Hoiustamiseelne happega töötlemine (MTK, 2011)

Laudas hapestamise eelised:

- 1) vedelsõnnikule happe lisamine vähendab edasisel käitlusel ammoniaagi heidet. Lauda tüübist sõltuvalt võib ammoniaagi lendumine väheneda 65–70%. Happega töödeldud vedelsõnniku korral lendub laudas 4% ja hoidlas 1% ammoniaagist. Happega töödeldud vedelsõnnik sisaldab töötlemata sõnnikuga võrreldes enam N-i ja vedelsõnnikus säilinud ammoniaagi arvel saab vähendada ostetava mineraalse N-väetise kogust;
- 2) happega töödeldud vedelsõnnikust eraldub hoidlas hoiustamise käigus vähem metaani (CH_4), mis on tõenäoliselt tingitud sellest, et madala pH tõttu on bioloogiline aktiivsus pärssitud (Wesnæs jt, 2011). Nørregaard Hanseni (2008) uuring näitas, et vedelsõnniku hapestamine vähendas CH_4 heitkogust hoidlast 67%;

3) veise vedelsõnnik muutub homogeensemaks ja seda on lihtsam käidelda (MTK, 2011).

Laudas hapestamise puudused:

- 1) kõrged ehitus- ja eksploatatsioonikulud. Energia tarbimine võib suurened, seda enamasti seoses vedelsõnniku täiendava pumpamisvajadusega (MTK, 2011);
- 2) võib esineda probleeme loomuliku kooriku hoidmisega happega töödeldud vedelsõnnikul; seadusega on nõutud, et vedelsõnnikuhoidla oleks emissiooni vähendamiseks kaetud, seetõttu peab kasutama muid katteid (MTK, 2011); samas kui hapestamine vähendab hoidlast lendumist, siis väheneb ka katmisvajadus;
- 3) olemasolevas laudas saab kasutada vedelsõnniku happega töötlemist pärast üksikasjalikku ekspertiisi; eelkõige peab hindama, kas materjalid on sellise kvaliteediga, et suudavad taluda vedelsõnniku hulka lisatud hapet; kogu sisseade maksumus võib olla olemasolevate hoonete korral oluliselt suurem, sest paigaldamise käigus tuleb teha muudatusi olemasolevates konstruktsioonides (MTK, 2011);
- 4) vedelsõnniku happega töötlemine võib tekitada töötlemiskoha ümbruses ebameeldivat haisu; ei ole dokumenteeritud mõju haisuheitele laudast; võib ilmned haisude eritumise suurenemine töötlemismahutis sõnniku pumpamisel ja happe lisamisel (MTK, 2011);
- 5) ei tohi kasutada lautades, kus vedelsõnnik eemaldatakse mehaaniliselt (MTK, 2011).

Hoidlas hapestamine toimub vedelsõnniku hoidlas segamise ajal. Vedelsõnniku ja happe segamine on ohtlik ja hapestamise ajal tuleb vedelsõnniku tase hoida 1 m allpool hoidla ülaserava. See on vajalik, et ohjata tugevat vahutamist, mis tekitab segamisel, kui vedelsõnnikust vabanevad bikarbonaadid. Teiseks peab sõnniku pH olema allpool 5,5, sest muidu on oht, et sõnnikus oleva kuivaine pH langeb palju aeglasemalt kui vedelal osal (MTK, 2011).

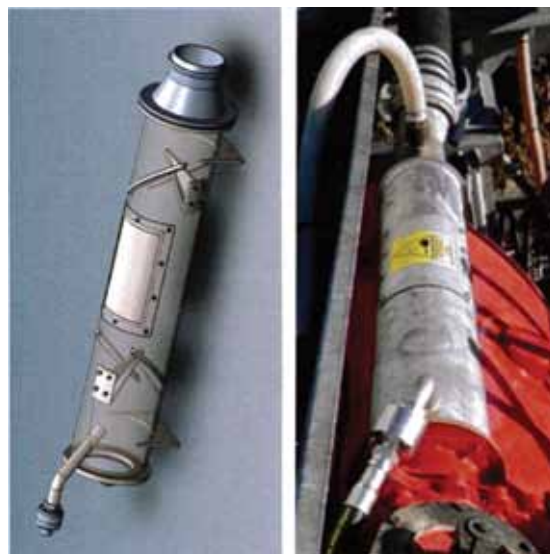
Laotamisaeagne happe lisamine (joonis 5.3). SyreN-süsteem mõõdab vedelsõnniku pH väärtust ja lisab vedelsõnnikusse traktori esiripp-paagist 96%-st väävelhapet ja/või raudsulfaati (FeSO_4). Väävelhape muudab vedelsõnniku happelisemaks. Selleks, et vähendada pH umbes 6-ni, on iga kuupmeetri vedelsõnniku kohta vaja keskmiselt 2 liitrit väävelhapet. Ammoniaagi lendumise vähenemine võrreldes töötlemata vedelsõnnikuga on 50%. Raudsulfaadi lisamine vähendab haisu eraldumist vedelsõnniku laotamisel. Tavaliselt kasutatakse väävlit taimede väetamisel põllumajanduses sõltuvalt põllukultuuride vajadusest, üldiselt umbes 30 kg/ha. See vastab SyreN-süsteemi väävli kogusele (Agrotech, 2012).

Väävelhappe pihusti on ühendatud seguriga (mis segab happe ja sõnniku), mis asub vedelsõnnikulaoturi paagi tagaotsas sõnnukujaoturi juures. Segurist läbi surutava vedelsõnniku ja happe segunemise aitavad kaasa seguri sisepinnale kinnitatud pööriseid tekitavad ribad (joonis 5.4 vasakul).



Joonis 5.3. Laotamisaeagseks happe lisamiseks on traktori esiripp-süsteemile kinnitatud kolm paaki: vasakul hele paak raudsulfaadi, keskel suurem paak väävelhappe ja paremal teine hele paak loputusvee jaoks (Agrotech, 2012)

Laoturi poomil on pH-andur, mis pidevalt jälgib laotatava materjali pH-d ja reguleerib automaatselt lisatava happe kogust. Süsteem on ehitatud ISOBUS standardite järgi ja kasutab olemasolevat paradaelektronikat.



Joonis 5.4 Vasakul happe pihusti ja paremal vedelsõnniku laoturil paagi tagaotsas asetsev segur (Agrotech, 2012)

Hapestamiseks on katsetatud mitmeid happeid ja soolasiid: fosforhapet, soolhapet, väävelhapet, propioonhapet, laktaathapet, maarjajääd, magneesiumisoola, kaltsiumisoola jt. Taani ettevõtte Biocover AS andmeil on majanduslikult kõige soodsam väävelhappe kasutamine.

Hapestamise hind erinevate tehnoloogiate korral 2012. aastal (Infarm, 2007).

Laudas hapestamine maksab 250 loomühikuga ettevõttele 3,5 €/m³. Seadmed maksavad 95 000–135 000 €. Sellele lisanduvad igapäevased kulud energiale, hooldusele, tööjõule ja happele.

Laotamisaegne hapestamine SyreN tehnoloogiaga maksab 1,3 €/m³, (BioCover, Morten Toft personaalne suhtlus)

Hapestatud vedelsõnnikuga laotamisel on eeliseks:

- 1) väävelhappe kasutamine hapestamisel lisab mulda väävlit, toimides väetisena (Wesnæs jt, 2011);
- 2) CO₂ õhkupaiskumise vähenemine tänu mineraalväetiste tootmise vajaduse vähenemisele (Biocover AS);
- 3) väheneb õhu saastumine peenosakestega tänu ammoniaagi väiksemas ulatuses üleminekule ammoniumnitraadiks ja ammoniumsulfaadiks (Biocover AS).

Puuduseks on väävliga üleväetamise oht. Kui väävelhappet anda 4,5 l/m³, siis vedelsõnniku laotamismormil 30 m³/ha antakse väävlit üle 70 kg/ha.

Ohutusnõuded väävelhappe käitlemisel

Käitlemisnõuded

Väävelhappet tuleb käidelda ventileeritavas ruumis kasutades asjakohaseid kaitsevahendeid. Vältida tuleks aurude sissehingamist, aine sattumist nahale, silma ja riiete. Peale käitlemist tuleb pesta end põhjalikult, eemalda saastunud riided, pesta need enne järgmist kasutamist.

Lahjendamisel tuleb valada hapet vette, mitte vastupidi, sest väävelhappe segamisel veega tekkiv soojus põhjustab tormilist pritsimist. Vältida tuleb kemikaali kokkupuudet metallidega, sest reageerides metallidega tekib gaasiline H₂.

Vajadusel tuleb kasutada happekindla filtriga hingamisteede kaitsevahendeid. Kindlasti tuleb kanda kaitsekindad (lateks, nitril, neopreel, PVC), silmade kaitseks hermeetilisi kaitseprille või täielikku näokaitset ning keemiliselt vastupidavat materjalist kaitseriidetust ja jalanõusid. Käepärast peab olema puhta vee pudel silmade loputamiseks.

Hoiustamisnõuded

Väävelhappet hoiustatakse tihedalt suletud ja nõuetekohaselt märgistatud mahutites jahedas ja hästiventileeritavas ruumis eraldi kokkusobimatutest ainetest (põlevad ja redutseerivad ained, tugevad oksüdeerivad ained, tugevad alused, toit, sööt jm.) ja eemal kergestisüttivatest materjalidest. Säilitusruumi põrand peab olema happekindel.

5.5.3 LAOTAMISEKS VALMENDAMINE HOIDLAS

5.5.3.1 Nõuded vedelsõnniku segamisele

Segamise eesmärgiks on vedelsõnniku homogeniseerimine ehk omaduste ühtlustamine mahuti ulatuses. Hoidlas seismisel vedelsõnnik kihistub - põhja vajub sete ja peale kogunevad kergemad osised, mis moodustavad kooriku. Sellise vedelsõnniku toitainete sisaldus on kihtide lõikes väga ebaühtlane. Seetõttu tuleb vedelsõnnik enne proovide võtmist ja väljapumpamist segada ühtlaseks. Veiste vedelsõnniku segamine vähese settega hoidlates peaks algama vähemalt 4 tundi enne laotamist. Mida paksem on sete, seda kauem tuleb vedelsõnnikut segada. Vedelsõnnikut segatakse ainult vahetult enne laotamist, sest segamise käigus lendub hulgaliselt lämmastikku ammoniaagina (Maves, 2005).

5.5.3.2 Vedelsõnniku segamisseadmed

Vedelsõnnikut segatakse tiivik- või pumpseguriga. Segureid käitatakse kas elektriga või saavad nad ajami traktori käitusvõllilt. Seadmed võivad olla nii paiksed (enamasti elektriajajamiga) kui ka teisaldatavad.

Segureid saab liigitada tööpõhimõtte alusel kolmeks:

- mehaanilised - tööorganiks on pöörlev tiivik (joonis 5.5);
- hüdraulilised - vedelsõnnikut pumbatakse hoidlasse tagasi (joonis 5.6);
- pneumaatilised - hoidla põhja juhitakse suruõhku.

Hüdraulilise pumpseguri eeliseks on, et sama seadet saab kasutada nii sõnniku pumpamiseks kui segamiseks.



Joonis 5.5. Mehaaniline tiiviksegur (GEA, 2012)



Joonis 5.6. Veise vedelsõnniku hüdrauliline segamine laguunis pumpseguriga (Tamm, K.)

5.5.4 HOIDLAST LAADIMINE

Vedelsõnniku laadimine hoidlast veokile toimub enamasti pumpamise teel, samas on võimalikud ka vedelsõnniku vabavoolul ja vaakumil põhinevad lahendused. Pumbatakse kas paikse või teisaldatava pumbaga või pumpseguriga. Rõngasmahutitest on enimlevinud pumpamisviis üle serva pumpsegurit kasutades. Laguunhoidlate puhul kasutatakse põhiliselt hoidla pealtpühendamist paikse torustiku või teisaldatava pumpseguri abil. Väiksemate hoidlate korral kasutatakse hoidlast pumpamist vedelsõnnikulaoturi pumba abil (Leola jt, 2007).



Joonis 5.7. Traktorilt käitav pumpsegur vedelsõnniku hoidlast paakautosse pumpamiseks (Vettik, R.)

Täitmiskiirust määrab kasutatav pump, täitetorustiku diameeter ja täitetorustiku pikkus. Sama kompressor-vaakumpumba korral on paagi täitmisele kuluva aja erinevus 150 mm ja 200 mm imitorustiku läbimõõdu korral kahekordne. Enamkasutatavad ühendused vedelsõnniku pumpamisel on läbimõõduga 150, 200 või 250 mm. Kasutatakse ka tsentrifugaalpumpasid.

Pumbad võivad olla nii elektrilise ajamisega kui traktorilt käitavad (joonis 5.7). Traktorilt käitavate pumpade jõudlus on vahemikus 14 000–23 000 l/min ja võimsustarve on 49–135 kW.

Kui vedelsõnniku hoidlast põllule vedamiseks kasutatakse laoturit, siis saab pumpamiseks kasutada laoturi pumba (joonis 5.8).



Joonis 5.8. Vedelsõnniku pumpamine laoturi pumbaga (Vepi, 2010)

5.5.5 VEDAMINE HOIDLAST PÕLLULE

Väiksemate veokauguste korral transporditakse ja laotatakse vedelsõnnikut kas haagis-, poolhaagis- või liikurlaoturitega. Haagislaoturid on kahe- või kolmeteljelised, kogu massi kannab haagise veermik. Poolhaagislaoturite veermik

on ühe- kuni kolmeteljeline, ka tandemina, suurt osa laoturi massist kannab tiisli kaudu traktori haakeseadis. Liikurlaoturitel on oma mootor ja juhtimissüsteem, manööverdamise lihtsustamiseks on tavaliselt kõik rattad juhitavad.



Joonis 5.9. Paakpoolhaagis vedelsõnniku etteveoks (Vettik, R.)

Pikema veokauguse korral kasutatakse vedelsõnniku kiireks põllule transportimiseks paakhaagistega veoautosid mahutavusega kuni 30 m³ (joonis 5.9). Veoki massi (paagi suurus) piirab nii seadusandlus kui kohalike teede kandevõime. Eesti Vabariigis on maksimaalseks lubatud täismassiks 40 t ja teljekoormuseks sõltuvalt veermiku ehitusest kuni 11,5 t. Lisaks võib kohalik omavalitsus kehtestada teljekoormusele lisapiiranguid. Kevadise teedelagunemise ajal piiratakse teljekoormus sageli 6–8 tonnini. Et vedelsõnnik transpordi ajal paakhaagises ei kihistuks, on paaki võimalik paigaldada hüdro-mootoriga käitav mehaaniline segur.

5.5.6 LADUSTAMINE PÕLLULE

Vedelsõnnikut enamasti ei (vahe)ladustata põllule, kuid nii ettevedavate veokite kui laoturi seisakute vältimiseks võib kasutada põllul teisaldatavaid vahemahuteid (joonis 5.10). Seisakud on põhjustatud ettevedava veoki ja laoturi paagi mahtude erinevusest ning erinevatest ajakuludest laoturi



Joonis 5.10. Teisaldatav pumbaga vahemahuti. Taustal transpordiasendis lohisvoolikutega laotur pumpab vahemahutist vedelsõnnikut oma paaki. Esiplaanil oleva vooliku kaudu pumpatakse veoki paagist vedelsõnnik vahemahutisse (Vettik, R.)

paagi tühjenemisele ja veoki paagi täitmisele. Vahemahuti suurus peaks olema laoturi ja etteveopaagi mahutavuste kordne, sest siis saavad mõlemad masinad töötada teineteisest sõltumatult. Vahemahuti võib olla varustatud pumbaga, mis võimaldab vedelsõnniku ettevedavate veokite paagist vahemahutisse pumbata. Vahemahuti pumpa käitatakse enamasti traktori käitusvõllilt. Vahemahutis võib paikneda vedelsõnnikust võõrkehasid püüdev vahesein

5.5.7 LAADIMINE PÖLLUL LAOTURISSE

Vedelsõnnik pumbatakse vahemahutist või ettevedava paakhaagise paagist ümber laoturi paaki kas vahemahuti pumba (joonis 5.10), ettevedava haagise pumba, traktori käitusvõllilt käitatava pumba (joonis 5.11) või laoturi pumbaga (joonis 5.12).



Joonis 5.11. Ümberpumpamine eraldi traktorile paigaldatud pumpamissüsteemiga (Vettik, R.)



Joonis 5.12. Ümberpumpamine liikurlaoturi pumpamissüsteemiga (Tamm, K.)

5.5.8 LAOTAMINE JA MULDA VIIMINE

5.5.8.1 Nõuded vedela orgaanilise väetise laotamisel

Kui sõnnik ei vasta „Sõnniku koostise nõuetes” (2011) toodud parameetritele (näit. kuivainesisaldus on alla 5%), siis on see jääde, mida tuleb enne põldudele laotamist töödelda nii, et see vastaks sõnniku koostise nõuetele (vt ka jaotis 1.1).

Kvaliteetse vedelsõnnikulaotamise nõuded on laotamismisnormi hoidmine, piki- ja põikühtlikkuse tagamine, kusjuures hälve normist ei tohiks ületada 10%, võimalikult maapinnalähedane ja suuretilgeline laotamine (ammooniumikadude vähendamiseks). Sõnnik ei tohiks sisaldada võõrkehi (näiteks heinapallide nõõre).

Vedelsõnniku laotamisplaani nõue

Üle 300 loomühiku loomi pidav isik, kes kasutab loomapidamishoones vedelsõnnikutehnoloogiat, või isik, kes lepingu alusel laotab 300-le loomühikule vastava koguse loomade vedelsõnnikut, peab koostama enne vedelsõnniku laotamist vedelsõnniku laotamisplaani, milles tuleb näidata laotatav vedelsõnniku kogus, laotamisala pindala, laotamisviisid, laotamisala põhjavee kaitstus, laotamisalal asuvad pinnaveekogud ja veehaarded (Veekaitseõuded..., 2011) Vedelsõnniku laotamisplaani kinnitab Keskkonnaamet kolme aasta kohta. Vedelsõnniku koguse suurenemisel peab taotlema laotamisplaanis muudatuste tegemist.

Kasvatavate kultuurideta põllule laotatud vedelsõnnik tuleb võimalikult kiiresti (soovitavalt 4 tunni jooksul) mulda viia, sest esimese 12 tunni jooksul lendub suurem osa ammoniaagist (PVT, 2007). Vedelsõnniku kasutamisel väetisena on ümbritsevale keskkonnale peamisteks riskifaktoriteks vedelsõnnikus sisalduva lämmastiku emissioon atmosfääri ammoniaagina ja lämmastiku oksiididena, samuti leostumine nitraatidena pinna- ja põhjaveette. Esineb ka kaaliumi ja fosfori ärakannet põllult, kui pinnaveel on võimalik voolata mulda imbumata põllult ära (Maves, 2005).

Nõuded silomahla ja vadaku laotamisele (Veekaitseõuded..., 2011)

Silomahla ja vadaku laotamisel tuleb need segada vee-ga vahekorras 1:1. Veega segatud silomahla ja vadakut võib laotada kuni 30 t/ha aastas. Silomahla ja vadakut ei tohi laotada lumele ja külmunud maale.

Lämmastiku kasuteguri suurendamiseks ja ammooniumi lendumise vähendamiseks peaks vedelsõnniku laotamine toimuma jaheda, sobuse ilmaga, kui relatiivne õhuniiskus on kõrge. Ilm võiks olla tuuletu või nõrga tuulega. Rohumaal on parim aeg laotamiseks kohe pärast kasutamist. Lohisvoolikud, lohisdüüsid ja sisestusseadmed aitavad vähendada sööda vedelsõnnikuga saastumist. Taimik toimib mõnevõrra ka tuule- ja päikesevarjuna vähendades gaaside eraldumist sõnnikust.

Gaaside lendumise ja ebameeldiva haisu leviku vältimiseks laotamisel on soovitatav kasutada seadmeid, mis viivad laotatava materjali otse maapinnale, segavad mullaga või sisestavad mulda (vt jaotis 5.4).

5.5.8.2 Vedelsõnnikulaoturid

Vedelsõnniku laotamisviisid on laus- ja ribaslaotamine. Nende variandid on järgmised:

- laotamine põllu pinnale ehk pindlaotamine;
- laotamine põllu pinnale koos samaaegse mullaga segamisega (sõbastamisega);
- sisestamine mulda või rohukamarasse.

Pindlaotamiseks on kaks põhilist viisi: paisklaotamine, kus vedelsõnnik paisatakse lauslaotamisena õhu kaudu laiaili ja lohislaotamine, kus vedelsõnnik jaotatakse lohisvoolikute

kaudu ribadena põllule pinna lähedalt töölaiuse ulatuses.

Vedelsõnniku mulda või rohukamarasse sisestamise mooduseid on samuti kaks: ühel juhul lõigatakse pinnasesse lõhed kuhu vedelsõnnik suunatakse voolikute kaudu ja teisel juhul pressitakse vedelik maasse survega. Lõhed lõigatakse nugade või ketastega ja on tavaliselt 5–20 cm sügavad. Lõhed jäetakse kas avatuks või suletakse surverataste või rullikutega.

Vedelsõnniku laoturite põhisõlmed on:

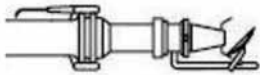
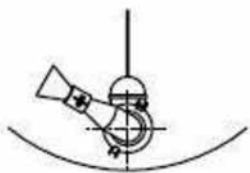
- raam koos veermikuga, teraspaagiga laoturitel võib raam puududa, mispuhul kandvaks ning teisi sõlmi ja tööseadiseid siduvaks elemendiks on paak;
- vedelsõnniku paak, selleks võib olla galvaniseeritud, tsingitud või seest korrosioonitõrjeks epoksiidvaiguga kaetud teraspaak, samuti on kasutusel alumiinium- ja plastpaake;
- pump, kas kompressor-vaakum-, tsentrifugaal-, labarootor-, pöördkolb- või eksentrikkruvi-pump;
- jagur, kas rõhrootoriga, püstrootoriga (enamasti varustatud lõikeseadise) või tigukonveier, mis jaotab vedelsõnniku voolikutesse;
- laotamiseadis (pindmine laotamine, pindmine laotamine sõbastamisega ja mulda või rohukamarasse sisestamine).

Laoturite laotamiseadised

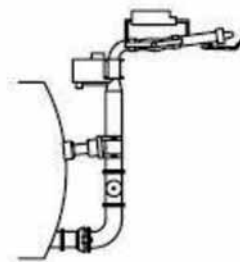
Paisklaoturid koosnevad traktori haakes olevast vedelsõnniku paagist ja paiskeseadise (paiskurist).

Paisklaoturitel kasutatakse mitmesuguseid paiskureid (tabel 5.5). Lihtsaim neist on kaldplaadiga paiskur (deflektor), mis hajutab vedelsõnniku joa õhku laiili võimendades aga selliselt ammoniaagi emissiooni (tabel 5.6A). Selle variandi puhul sõltub laotamisühtlikkus olulisel määral tuule tugevusest.

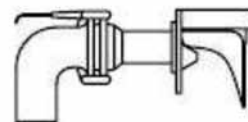
Tabel 5.5. Paiskurite tüübid (Frick, 1999)

Paiskurite tüübid	Seadiste skeemid
Kaldplaadiga paiskur	
Pendelkäisega paiskur	

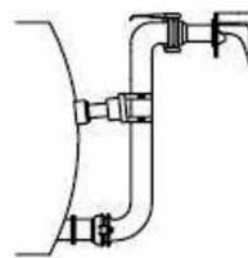
Kõrgel paiknev pendelkäisega paiskur



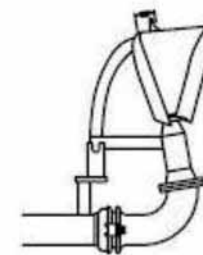
Püstsuunur



Kõrgel paiknev püstsuunur



Pendelpaiskur



Parema laotamisühtlikkuse tagavad keerulisema ehitusega paiskurid. Paiskesuuna muutmisevõimalusega paiskuriga laotamisel kasutatakse mehaaniliselt või elektriliselt liigutatavaid laotamisdüüse või suunureid, mis edasi-tagasi võnkudes jaotavad vedelsõnnikut kahele poole (tabel 5.6B).

Madalama lehviku tagab pendelkäis, millega on võimalik saavutada ühtlasi laotamisel parem põikühtlikkus. Püstise laotamiselehviku ülalt alla suunamiseks ja lenduvate gaaside õhkupaikamise vähendamiseks on välja töötatud püstsuunur (joonis 5.13). Suurema töölaiuse saavutamiseks kasutatakse kõrgel asetsevad variante või mitut paiskurit.

Mitme paiskuri korral on need paigutatud maapinna lähedale poomile, et vähendada vedelsõnniku õhus läbimise teekonda ja seeläbi gaasiliste ühendite lendumist.

Vedelsõnniku paisklaotamisel on rida puudusi:

- suured lämmastiku kaod ammoniaagi lendumise tõttu;
- intensiivne lõhnaainete emissioon;
- ebaühtlane laotamine, doseerimise tülilikus;
- on problemaatiline kasvavate taimede, eriti rohumaade väetamisel, kuna sõnnikuga saastunud taimedest ei ole võimalik valmistada kvaliteetset silo (heina), samuti väheneb sellise taimiku söödavus karjatamisel või haljas-söödana.



Joonis 5.13. Püstsuuriga paisklaotur (Vettik, R.)

Paisklaotamine sobib teraviljapõldudele tagastatud peenestatud põhule laotamiseks jahedate, tuulevaiksete ning uduste ilmadega. Kindlasti tuleb selliselt laotatud vedelsõnnik võimalikult kiiresti pinnasesse segada.

Väga madala kuivainesaldusega (lahjendatud) vedelsõnniku paisklaotamise erivormiks on laotamine vihmutusüsteemidega. Meetodi rakendamiseks peavad vihmutusega väetatavad alad asuma sõnnikuhoidla lähedal (maksimaalselt 300 m). Piisavalt madala kuivainesaldusega vedelsõnnik on harilikult suurtes laguun-tüüpi sademetele avatud hoidlates, samuti hoidlates, kuhu juhitakse laudaseadmete ja inventari pesu- ning territooriumilt kogutud sademetevesi

Lohislaoturid (tabel 5.6C) koosnevad vedelsõnniku paagist, jagurist ning voolikutest. Voolikud on kinnitatud ühtlaste vahedega (20–30 cm) poomile (joonis 5.14), nende alumised otsad lohisevad maapinnal. Levinumaks lohislaoturi töölaiuseks on 12 m. Kahe jaguriga lohislaoturi töölaius võib olla kuni 36 m. Lohislaotur suunab vedelsõnniku vahetult mulla pinnale ja enamasti jäävad taimede kõrgemalasuavad lehed puhtaks. Sõltuvalt taimeridade ja voolikute omavahelisest paiknemisest võivad siiski madalamad taimed jääda voolikute väljuva sõnnikunire alla. Mõnel juhul võib voolikuots tõusta õhku ja vedelsõnnik sattuda ka kõrgemalasuavatele taimelehtedele. Tänu kiirele kontaktile mullaga on ammoniaagi lendumine võrreldes paisklaotamisega oluliselt väiksem.

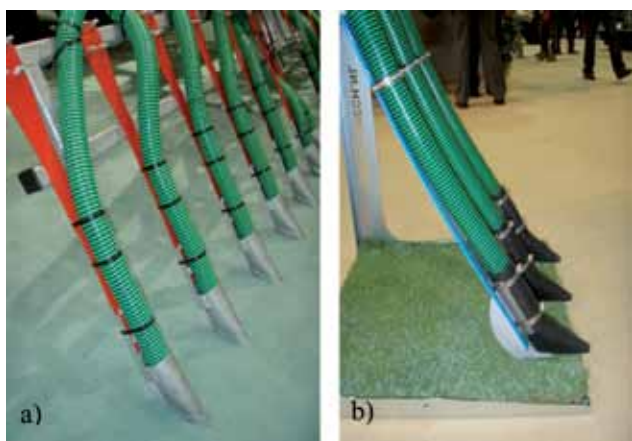


Joonis 5.14. Lohislaotur tagantvaates (Vettik, R.)

Meetod sobib nii põllu- kui rohumaade ja ka teraviljade ning rapsi kasvuaegseks väetamiseks. Kasvatavatele taimedele laotamisel ei tohi taimiku kõrgus ületada 30 cm. Ettevaatlik tuleks olla silo valmistamiseks ja karjatamiseks planeeritud rohumaade väetamisel, kuna esineb mõningast taimede saastumist sõnnikuga. Tulenevalt seadme laiusest ei sobi see väikestele, ebakorrapärase kuju ning järskude tõusude ja langustega põldudele.

Düüsidega lohislaoturid (tabel 5.6D) on põhimõtteliselt sarnased lohislaoturitega. Põhierinevuseks on, et voolikud on kinnitatud metallribast piidele, mis väldivad voolikute laotamise ajal õhkukerkimise ja hoiavad voolikute otste vahekauguse võrdsena tagades seega parema põikühtlikkuse (joonis 5.15). Voolikud võivad olla kinnitatud ka klaasplastist varrastele, mis võimaldavad külgsuunalist liikumist. Voolikute otstes on spetsiaalsed düüsid, mis suunavad sõnniku vahetult mulla pinnale taimkatte alla, vähendades taimede vegetatiivosade saastumise ohtu. Siiski võib rattajälgedes esineda taimede määrdumist vedelsõnnikuga. Düüsidega lohislaoturi töölaiuseks on enamasti 6–18 m. Masin ei sobi väikestele, ebakorrapärase kujuga ja künklikele põldudele. Kuna düüsid on voolikute otstesse kinnitatud jäigalt, siis tuleb vältida põllu pinnal olevaid kive. Düüs võib olla metallist (joonis 5.15a) või kummist. Kummist düüsile eelneb eraldi juhtkiil (joonis 5.15b), mis sõltuvalt maapinna kõvadusest löikab mulda kuni 2 cm sügavuse löhe (tabel 5.6E). Vedelsõnnik suunatakse kummist düüsi kaudu kiilu taha. Lohiskiilseadis jätab ka rattajälgedes taimed vedelsõnnikuga määrimata.

Seadis sobib nii põllu- kui ka rohumaade (kasvatavate taimede) väetamiseks. Kasvatavatele taimedele laotamisel peaksid taimed olema vähemalt 8 cm kõrgused. Taimede maksimumkõrgus on sama mis tavalise lohislaotamise korral.



Joonis 5.15. Lohislaoturi voolikud on varustatud düüside ja juhtkiiludega tagamaks võimalikult maapinnalähedane ning vedelsõnniku andmine kitsa ribana (Vettik, R.)

Pindmisel laotamisel sõbastamisega ehk segamislaoamisel suunatakse vedelsõnnik voolikute kaudu põllu pinnale ja segatakse sfääriliste ketaste (tabel 5.6F) või C-piidega (tabel 5.6G) mulla pindmisesse kihti 3–8 cm sügavusel. Sellised lahendused sobivad ka laia reavahega (45–100 cm) kasvatatavate kultuuride (nt mais) kasvuaegseks väetamiseks.

Külvieelsel mullaharimisel kasutatakse vedelsõnniku-laoturiga haagitud tüükultivaatorile või kergrandaalile paigaldatud laotamisseadiseid.

Sfäärilised kettad võivad olla nii sileda- kui säkkservalised (joonis 5.16). Kergrandaali kasutamisel laotatakse vedelsõnnik maapinnale kas esimese kettarea ees või siis esimese kettarea ketaste taga. Ketaste vahekaugus on enamasti 25 cm. Esimese kettarea järele laotamisel seguneb nende poolt tekitatud mullapilv vedelsõnniku joaga ja mulla ning sõnniku vaheline esmane kontaktpind on suurem võrreldes esimese kettarea ette laotamisega. Pealegi ei teki sel juhul mulda segatud sõnniku pinnale tagasi toomise efekti.

Vedrupiide kasutamisel laotatakse vedelsõnnik maapinnale piiridade vahel.



Joonis 5.16. Vedelsõnniku ketassõbastusseadis (Tamm, K.)

Avalõhe-sisestuslaoturid. Kamarasse või mulda löigatakse nugade või ketastega 20–60 mm sügavused lõhed, kuhu vedelsõnnik suunatakse kummist düüside kaudu, lõhed jäävad avatuks. Lõhede vahekaugus on tavaliselt 20–40 cm ning laoturi enamlevinud töölaius 6 m. Düüsidest väljuvate sõnnikujugade voolutugevus tuleb reguleerida tasemele, mis välistab sõnniku jäämise mulla pinnale (lõhe ülejutamise). Soovituslik laotamismäär on 15–20 m³ vedelsõnnikut hektarile. Kui kettad on kesktelt paksemad või järgneb löikekettale kiil, siis on maksimaalne laotamismäär 30 m³. Suurema normi korral ei mahu vedelsõnnik lõhedesse ja jääb maapinnale.

Kamarasse või mulda lõhe löikamise ketasseadised saab jaotada:

- 1-kettalised, mis võivad olla kas erineva läbimõõduga, kesksuunas paksenevad või kaldsed (joonis 5.17, tabel 5.6H);
- 2-kettalised, mis löikavad mulda V-kujulise lõhe (joonis 5.18, tabel 5.6I);
- 1-kettalised koos V-kujulist lõhet moodustava kiiluga (joonis 5.19, tabel 5.6J).



Joonis 5.17. 1-kettaline avalõhe-sisestusseadis (Vettik, R.)

Sisestuslaoturid sobivad nii põllu- kui rohumaade (kasvatavate taimede) väetamiseks. Täpse doseerimise korral taimede saastumist sõnnikuga ei esine. Ammoniaagi lendumine on tagasihoidlik. Sisestuslaoturid ei sobi väga kivistele põldudele ning rasketele muldadele, kuhu vajaliku sügavusega lõhe löikamine on problemaatiline või isegi võimatu.



Joonis 5.18. 2-kettaline avalõhe-sisestusseadis (Vettik, R.)



Joonis 5.19. 1-kettaline kiiluga avalõhe sisestusseadis (Vettik, R.)



Joonis 5.20. Lõhed suletakse surverattaga (Pichon, 2012)

Sulglõhe-sisestuslaoturid. Töösügavuse järgi saab neid laotureid jaotada:

- madalale, 5–10 cm muldaviivad, (joonis 5.20, tabel 5.6K);
- sügavale, 15–20 cm muldaviivad, lõhed tehakse enamasti kas hanijalg- (tabel 5.6L) või kobestuskäppadega (tabel 5.6M), käppade vahekaugus 25–50 cm (joonis 5.21).



Joonis 5.21. Sügava muldaviimise kobestuskäpad (Vettik, R.)

Madalal muldaviimisel suunatakse vedelsõnnik kummidüüside kaudu lõikeketastega kamarasse lõigatud lõhesse, mis suletakse surverattaste või rullikutega. Laotamis-elementide vahekaugus on tavaliselt 25–50 cm. Sügaval muldaviimisel suunatakse vedelsõnnik vahetult käppade- või hanijalgade taga pinnasesse. Kobestatud muld variseb ise lõhesse. Vedelsõnniku laotamise seadmetest on sulglõhe-sisestuslaoturid kõige keskkonnasõbralikumad. Ammoniaagi ja lõhnaainete lendumist praktiliselt ei esine. Vedelsõnniku sügava muldaviimise korral kobestatakse mõningal määral mulda. Sügavat muldaviimist kasutatakse enamasti haritava maal, sest oht kasvavate taimede juurestikku vigastada on suur. Laoturite puuduseks on väiksem laotamislaius ja vajadus võimsamate traktorite järele. Vedelsõnniku sügavale pinnasesse viimise korral suureneb nitraatide leostumise oht. Kasutamist piiravad eelkõige mulla omadused - ei ole sobiv kivistele ja savistele (rasketele) muldadele.



Joonis 5.22. Vogelsang Xtill S (Vogelsang, 2011b)

Ribassegamislaoturid teevad samaaegselt ribasharimisega vedelsõnniku segamislautamist (joonis 5.22). Seade on võimaline töötama ribasharimisriistana otse kõrretüül. Hiljem

külvatakse haritud ja väetatud ribale saagikultuur. Ribade harimata vahesid jäävad katma eelvilja taimejäänused.

Iga riba harimine toimub viie üksteisele järgneva tööorganiga:

tähikettad – kaks sügavushoidikuga tähikketast eemaldavad riba kohalt taimejäänused;

löikeketas – hambulise servaga löikeketas teeb pinnasesse sisselõike riba servas;

kobestus/väetamiskäpp – sellega kobestatakse muld soovitud sügavuselt. Vedelsõnnik suunatakse käpa tagant pinnasesse;

lainelise servaga kettad – kaks lainelise servaga ketast moodustavad peeneks murendatud mullast vao;

tihendusrullid – kaks v-asetusega tihendusrulli vormivad külviks hästi ettevalmistatud pinnase.



Joonis 5.23. Kotte PreMaister (Kotte, 2012)

Kotte PreMaister (joonis 5.23) vedelsõnniku laotamis-seadmel on kolm tööorganit üksteise järel: 75 cm reavahega käpp/piiseadis kobestamiseks ja vedelsõnniku 10–15 cm sügavusele muldaviimiseks, ketas ja seejärel tihendusratas.



Joonis 5.24. Survelaotur, parempoolne laotusseadis on tööasendis ja ülejäänud kolm transpordiasendis tööasendis (Vettik, R.)

Survelaotamisel (joonis 5.24, tabel 5.6N) pressitakse vedelsõnnik kuni 5 cm sügavusele pinnasesse kuni 13 atmosfäärise rõhuga. Tööseadisteks on kõrgsurvet taluvad jaotuskambrid, mis tööasendis libisevad maapinnal, transpordiasendis tõstetakse üles. Kambrite alumistel külgedel on avad, mille kaudu kõrgsurvepumbast tulev vedelväetis pihustatakse mulda. Avade juures on pöörlevad noad, mis tekitavad pulseeriva joa ja hoiavad väljalaskeava puhtana. Seda moodust saab kasutada madala taimeistikuga ja pinnakivideta põldudel.

Auklaoturit (joonis 5.25, tabel 5.6O) kasutatakse rohumaa-del ja otsekülvitehnoloogia korral. Tööseadiseks on võllile kinnitatud tähiknoad, mis pööreldes torkavad pinnasesse augud, kuhu suunatakse vedelsõnnik. Osa vedelsõnnikust satub aukudesse ja osa jääb pinnale. Vedelsõnnik võidakse suunata põllu pinnale ka enne tähiknugasid.



Joonis 5.25. Auklaotur (Aerway, 2012)

Külviaegse muldaviimisega seadmed võimaldavad vedelsõnniku muldaviimist ühendada külviga. Maisi punktiirkülvik (joonis 5.26) on haagitud vedelsõnniku paakhaagise külge ja kahel pool iga külviseadet paiknevad vedelsõnniku muldaviimiseks düüsid. Tehniliselt on selle masinaga võimalik laotada kuni 50 m³/ha.



Joonis 5.26. Vedelsõnniku muldaviimine üheaegselt maisikülviga (Slootsmid, 2012)

Tabel 5.6. Vedelsõnnikulaoturite tööseadiste tüübid

A) Üks või enam jäika paiskurit



B) Üks või enam muudetava paiskesuunaga paiskurit



C) Lohisseadis



D) Düüsiga lohisseeadis



E) Kiilu ja düüsiga lohisseeadis



F) Sõbastamine sfääriliste ketastega



G) Sõbastamine C-piidega



H) Ühekettaline sisestusseadis (võib olla erineva läbimõõduga, kesksuunas paksenev või vertikaalsihis kallutatud)



I) Kahekettaline sisestusseadis, mis lõikab mulda V-kujulise lõhe



J) Ühekettaline sisestusseadis, millele järgneb V-kujulise lõhe avamise seadis



K) Sulglõhe-sisestusseadis



L) Sügavisestamine hanijalgkäpaga



M) Sügavisestamine kobestuskäpaga



N) Sisestus kõrgsurvega, survelaotamine



O) Auklaotur



Laotamissügavuse hoidmine

Maapinna paremaks kopeerimiseks võib vedelsõnniku mulda või rohukamarasse viimise seadme raam olla liigendatud mitmeks osaks. Ketaste töösügavuse tagamiseks on iga ketas/kettapaar raamiga ühendatud leht- (joonis 5.27) või keerdvedru (joonis 5.17) abil. Ketaste töösügavuse hoidmine võib olla ka hüdrauliline (joonis 5.28). Sellised ühendusviisid töötavad ka kiviaktsena.



Joonis 5.27. Töösügavuse tagamine lehtvedrudega (Vettik, R.) Joonis 5.28. Hüdrauliline töösügavuse hoidmine (Vettik, R.)

Laoturite pumbad

Vedelsõnniku laoturite paake täidekse ja tühjendatakse kas õhu- või vedelsõnnikupumbaga.

Õhupump ehk kompressor-vaakumpump. Vedeliku paaki imemiseks pumbatakse paagist õhku välja, tekkiv hõrenus imeb imivooliku kaudu vedeliku hoidlast paaki. Tühjendamiseks pumbatakse paaki õhku, tekkiv ülerõhk surub vedeliku paagist laotamiseadmesse.

Paagi konstruktsioon peab olema piisavalt tugev, et taluda ala- ja ülerõhku. Kompressor-vaakumpumbaga laoturi paagi täitmise kiirendamiseks võidakse kasutada hüdroajamiga täitekiirendit, milleks on imitoruga ühendatud tsentrifugaalpump. Lisaks aitab see paaki rohkem täis saada kui ainult vaakumit kasutades.

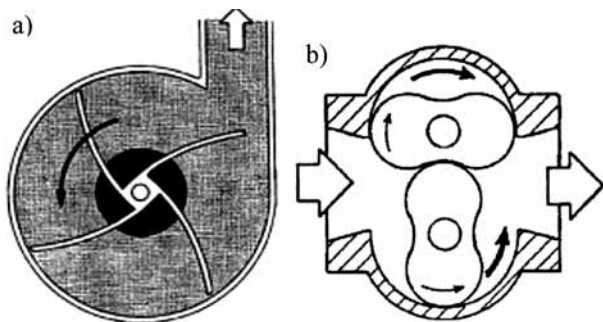
Erinevalt teistest vedelsõnnikupumbadest kompressor-vaakumpump vedelväetisega otseselt kokku ei puutu ja kuulub seega aeglasemalt. Kuna nii hõrenus kui paagisisene ülerõhk on rakendatavad ainult teatud määraneni, siis on piiratud ka imemissügavus ja laotamislaius ning viimase tõttu ka tootlikkus.

Kompressori-vaakumpumba hoolduskulud on väikesed. Tähtis on lamellide määrimiseks vajaliku õli kontroll, kas vaateakna või õlimõõtevarda abil.

Vedelsõnnikupumbaga laoturitel kasutatakse kas tsentrifugaal-, labarootor-, kruvi- või kolbpumpasid. Pumbaga laoturite paagid on sageli terase asemel plastist ja seega kergemad ning nende kasulik kandevõime on suurem.

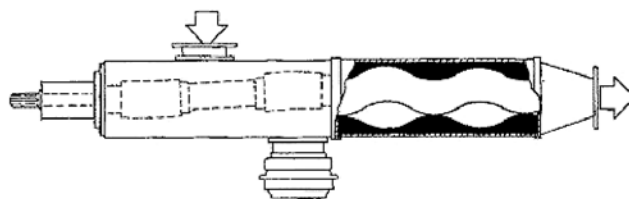
Tsentrifugaalpump (joonis 5.29a) võib olla iseimev või mitte. Mitteilimeva pumba korral peab see eelnevalt täituma pumbatava vedelikuga, nt paiknema paagi alumises osas, kus täitumine toimub raskusjõu mõjul. Paagi tühjendamisel surub tsentrifugaalpump vedeliku väljalaadimistoru (vooliku) kaudu laotamiseadmesse. Paagi täitmine toimub mõne välise pumpamiseadme abil. Tsentrifugaalpump on tundlik võõrkehade suhtes.

Pöördkolbpump (joonis 5.29b) on imemisvõimalusega kompaktne mahtpump, mis on tundlik tühjalt töötamise ja võõrkehade suhtes;



Joonis 5.29. Tsentrifugaal- (a) ja pöördkolbpump (b) (Manure handling, 1994)

Ekstsentriskruvi-pump (joonis 5.30) on mahtpump, mis liigutab vedelikku kruvisoones piki pumba telge. Pump on tundlik võõrkehade suhtes. See seade sobib ka poolvedela sõnniku pumpamiseks.



Joonis 5.30. Ekstsentriskruvi-pump (Manure handling, 1994)

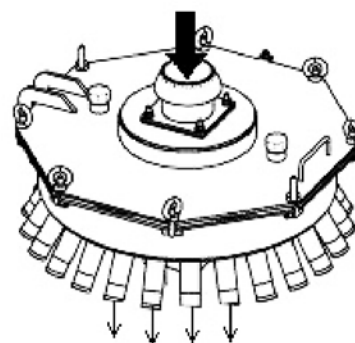
Laoturite vedelsõnnikujagurid

Vedelsõnnikut voolikutesse jagavad seadmeid - jagureid on kahesuguseid: tsentraalselt ühest (või mitmest) kohast jagavad rootorjagurid (rõht või püstrootoriga) ja masina haardeaiuse ulatuses laaliviivad tigukonveierjagurid.

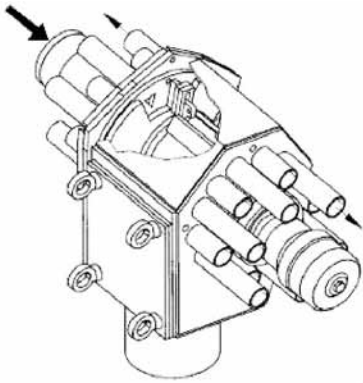
Püstrootoriga jagurid saab liigitada ajami tüübi järgi:

- vedelsõnniku survel pöörleva rootoriga jagur (joonis 5.31), läbilaskevõime on kuni 5000 l/min. Vooliklaotamis-süsteemide korral töötab rõhuga 0,5–4 baari. Vedelsõnniku tahke fraktsiooni tükeldamiseks on rullid;
- mehhaanilise ajamiga jagur (sobib kui traktori hüdroüsteemi tootlikkus on ebapiisav) saab ajami traktori jõuvõtuvõllilt;
- hüdemootoriga jagur, läbilaskevõime 2000 kuni 7500 l/min, kuni 60 väljundtoru. Vedelsõnniku tahket fraktsiooni tükeldatakse rootori löikeservade ja vastulõikeplaadiga. Vedelsõnnik voolab rootorisse ja jagatakse voolikutesse, pidev surve väldib toruotste ummistused. DLG-testides (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft) on jaotumuse variatsioonikordaja olnud 5%.

Rõhtrootoriga jaguri (joonis 5.32) rootor käitatakse hüdemootoriga, läbilaskevõime on 5000 kuni 10 000 l/min ja seade on varustatud hüdrauliliselt juhitava kivipüüduriga. Väljundtorude arv 24, 30, 40, 48 või 60. Vedelsõnnik siseneb külgmisse sisenemisavasse ja voolab otse jagaja korpusesse. Ummistuste vältimiseks on rootor projekteeritud reverseeritavana. Iseterituvad löikenoad on valmistatud karastatud terasest. Kompaktne ehitus võimaldab paigaldada laotamis-poomile ja seetõttu saab kasutada korraga mitut jagurit.



Joonis 5.31. Püstrootoriga jagur (Agromiljo, 2012)



Joonis 5.32. Rõhtrõotoriga jagur (Vogel-sang, 2012a)

Tigukonveierjaguri ajamiseks on hüdmootor (joonis 5.33), ummistuse tekkimisel saab teo reverseerida. Suuremad võõrkehade kogunevad konveieri lõpus paiknevasse kambrisse

Suure töölaieusega lohislaoturite vedelsõnniku jagurid on konstrueeritud selliselt, et vedelsõnnik suunatakse esmalt pikematesse voolikutesse ja lõpuks lühematesse voolikutesse. See tagab, et kõik voolikud hakkavad vedelsõnnikut laotama praktiliselt samaaegselt vältides laotamisnormi suurenemist vahetult laoturi paagi läheduses.



Joonis 5.33. Hüdmootoriga käitav tigukonveierjagur (Vettik, R.)

Lisaseadised

Laoturitel on veel mitmeid lisaseadiseid, näiteks: tankimisseadis (joonis 5.34), peenesti-võõrkehaemaldi (joonis 5.35), segur, juhtarvuti, läbivoolumõõtur, rehvirõhu muutmise seadis, valgustid jmt.

Hüdrauliliselt liigutatav tankimisseadis hõlbustab paagi täitmist - ei pea käsitsi tõstma ja ühendama voolikuid.



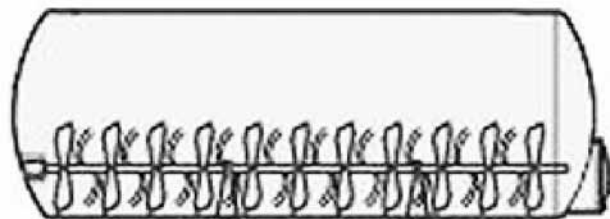
Joonis 5.34. Hüdrauliliselt liigutatav tankimisseadis (Vettik, R.)

Tankimisseadise ja paagi vahel on mõnel laoturil seadis vedelsõnnikus olevate tahkete osade peenestamiseks ja seal sisalduvate võõrkehade eemaldamiseks (joonis 5.35). Põrlev kolme või nelja teraga löikur surub tahked osad vastulõikeplaadi avadest läbi (sarnaselt hakklihamasinalle). Võõrkehade eemaldamine on vajalik vedelsõnnikupumpade kahjustamise vältimiseks. Samuti aitab see vältida ummistusi torustikes ja laotamisseadistes.



Joonis 5.35. Peenesti-võõrkehaemaldi (Vettik, R.)

Paagis segamine võib toimuda mehaaniliselt laba- (joonis 5.36) või tiguseguriga (joonis 5.37), hüdrauliliselt - vedelsõnnikut hoitakse pumpamisega ringluses või pneumaatiliselt - suruõhu suunamisega paagi põhja (joonis 5.38A).

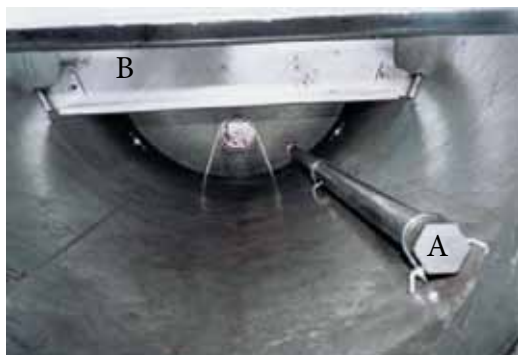


Joonis 5.36. Labasegur (Joskin, 2009)



Joonis 5.37. Tigusegur (Agronic, 2010)

Täiteavaga laoturid on mõnel juhul varustatud kaane sulgemise ja avamise hüdrostsüsteemiga. Suuremahulistes paakides võib olla vedelsõnniku loksumise vähendamiseks vastav summuti (joonis 5.38B).



Joonis 5.38. Pneumosegur - suruõhk suunatakse paagi põhja (A) ja loksumissummuti (B) (Jeantil, 2012)

Laoturiga ühendatud pardaarvuti reguleerib laotatava vedelsõnniku hulka automaatselt vastavalt liikumiskiirusele. Arvutist saab välja printida info vedelsõnniku koguse, laotamisala, tööaja ja läbitud vahemaa kohta. Samuti saab kasutada GPS-süsteemi võimalusi. Kasutusel on nn põlluotsa-automaatika, mille abil ühe nupuvajutusega langetatakse või tõstetakse laotamisseadis ning käivitatakse või seistatakse vedelsõnniku doseerimis- ja jaotusseade.

Lohisseadistele on võimalus tellida lülitus osalise laotamislaiusele. Kõige lihtsam variant toimib käsitsi vastavate kuulkraanide või siibrite sulgemise-avamisega. Kahe jaoturiga seadmete korral on poole masina välja lülitamise võimalus kas käsitsi või hüdrauliliselt. Lisavarustusena saab tellida igale voolikule vedelsõnniku etteande sisse-välja lülitamise võimaluse.

Nn „VAN-Control“ süsteemi abil saab laotamisnormi reguleerida vedelsõnniku lämmastiksisalduse järgi. Lisaks on mõõdetavad veel kuivaine-, fosfori- ja kaaliumisisaldus, mida mõõdetakse laotamisel reaajas. Süsteemi kasutamiseks on vajalik traktori ISOBUS-valmidus.

Tilkumise vältimiseks peale töö lõpetamist on võimalik kasutada kas mehaanilist või hüdraulilist voolikute sulgemist (joonis 5.39).



Joonis 5.39. Voolikute hüdroksulgur (Vettik, R.)

Lohisvoolikutega laotamispooli transpordiasendisse viimisel on võimalik nende samaaegne ülespööramine (joonis 5.40), mis ühtlasi aitab vältida transpordi ajal sõnniku voolikutest väljatilkumist.



Joonis 5.40. Ülespööratud lohisvoolikud (Briri, 2009)



Joonis 5.41. Sundmäärimisega kettalaagrid (Vettik, R.)



Joonis 5.42. Muudetav rööbe ja rehvirõhu muutmise süsteem (Vettik, R.)

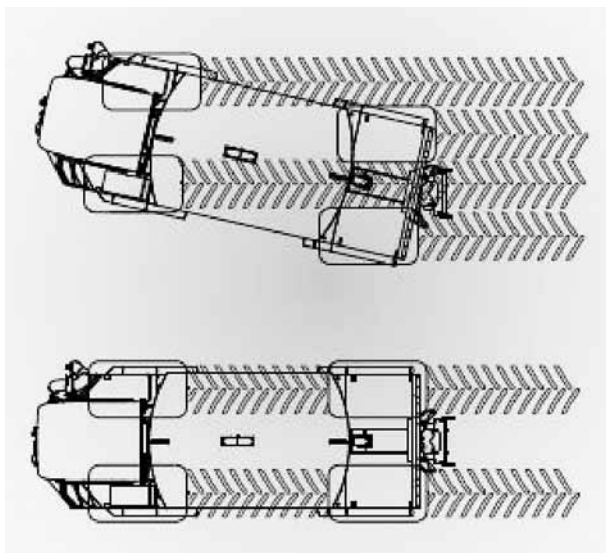
Osa masinatootjaid kasutavad ketasseadiste laagrite tsentraalset sundmäärimist (joonis 5.41).

Pinnase tallamise vähendamiseks on võimalik valida laiad rehvid, rehvirõhu muutmise süsteemid ja rataste nihutamise võimaluse - muudetava rööpe (joonis 5.42) või nn "krabikäigu" (joonis 5.43). Enamasti saab rehvirõhku vastavalt vajadusele muuta automaatselt.

Mitmeteljelistel paakhaagistel on enamasti kasutusel rataste pööramise võimalus. Süsteeme on mitmesuguseid ja nende keerukusest sõltub paakhaagise hind. Nt elektrohüdrauliline „multi-roolimissüsteem“ (Kotte, 2009a) võimaldab erinevaid sõidurežiime, nagu:

- matkivsõit – haagise esimene sild on jäik, teiste sildade rattad on pööravad;
- jäljesõit – haagise kõikide sildade rattaid pööratakse nii, et haagise liikumise trajektoor ühtib veduki liikumistrajektooriga, pööramisel ei ole ohtu, et haagis „lõikab kurvi“;
- krabikäik – haagise erinevate telgede rattad veerevad erinevaid jälgi mööda ja seeläbi väheneb/ühtlustub pinnase tallamine;
- nõlval liikumine – paralleelselt nõlvaga liikumisel keeratakse haagise rattaid tõusu suunas, et ennetada külglibisemist;
- manööverdamine – võimaldab pöörata minimaalse pöörderaadiusega.

Kõik sõidurežiimid on vastavalt vajadusele juhtpuldilt valitavad.



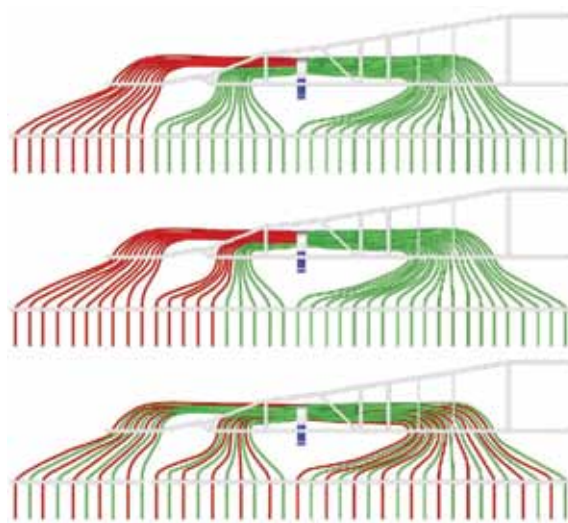
Joonis 5.43. Krabikäik (ülal) (Vredo, 2009)

Töölaiuse seadmise võimalused

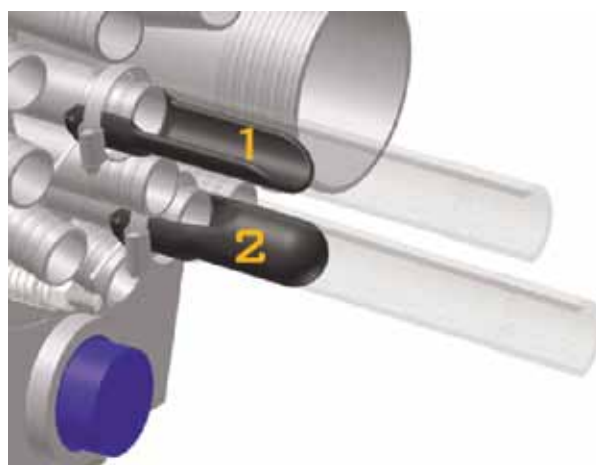
Osadel lohislaoturitel (Kimadan, 2009) on võimalik jaguri ja sektsiooniohjuriga sulgeda sektsioonide voolikud 4 m kaupa, et vähendada töölaiust (20 m töölaiust saab vähendada 16 või 12 m-ni). See on vajalik kui vedelsõnnikut laotatakse kiilukujulisel põllul või põlluservas, et minimeerida mitmekordse normiga väetatavat maa-ala. Sektsiooni-

ohjurid on juhitud pardaarvutist. Mõnedel laoturitel on võimalik samal eesmärgil blokeerida vedelsõnniku voolu poomi 1 m pikkustes sektsioonides (Samson 2010a).

Välja on töötatud ka süsteem, mis võimaldab lisaks sektsioonide kaupa lülitamisele sulgeda voolikud tehnoradadel või suurema ribavahega laotamiseks. (Vogelsang *Comfort Flow Control*) (joonis 5.44, alumine). Lülitussüsteemi põhi-osadeks on õhuballoonid ja suruõhutorustik. Õhuballoonid on paigaldatud vahetult jaguri väljundtorude juurde voolikutesse (joonis 5.45). Sõnnikuvoolu peatamiseks täidetakse need suruõhuga, süsteemi juhitakse traktori kabiinist (Vogelsang, 2011a).



Joonis 5.44. Ülevaade voolikute erinevatest sulgemisvõimlustest (Vogelsang, 2011a)



Joonis 5.45. Suruõhuga voolikute sulgemise süsteem (1 – vedelsõnnik pääseb jagurist voolikusse, 2 – vedelsõnnik ei pääse jagurist voolikusse (Vogelsang, 2011a)

Väljatöötatud on süsteem (Vogelsang), mis võimaldab 18 m laiuse laotamisepoomiga ühelt tehnorajalt laotada vedelsõnnikut 36 m laiuselt (joonis 5.46). Esimesel töökäigul on poom täielikult lahtisirutatud ja laotamine toimub välimistes vahemikes, st lõikudel 1–9 m ja 27–36 m, nende va-

hele jääb 18 m laiune täislaotamata riba. Järgneval töökäigul sõidetakse uuesti samal tehnorajal, aga poom on kokku pakitud selliselt, et laotamine toimub eelmisel töökäigul laotamata jäänud ribale. Selline lahendus on ehituslikult odavam kui 36 m laotamispuom ja võimaldab kasutada väikese paagimahuga haagisel suurt töölaiust, seeläbi väheneb surve pinnasele ja väiksema paagimahu korral saab kasutada ka väiksema võimsusega traktorit.



Joonis 5.46. Laotamispuumi asendi muutmisevõimalusega lohistaotur (Vogelsang, 2012b)

Voolikutehnoloogia korral (vt jaotis 5.3) kasutatakse kas eraldi haagisel olevaid voolikutrumleid või on laotamisagregaadid varustatud voolikutrumlitega, millel oleva vooliku kaudu pumbatakse vedelsõnnik hoidlast või põllul olevast vahemahutist paagita laoturisse. Voolikutehnoloogia jaoks on olemas nii ripp- (joonis 5.47), poolhaagis- (joonis 5.48) kui ka liikurlaoturid. Ripplaoturi traktoril on sageli esiripp-süsteemil voolikutrummel, kuhu saab vooliku ühelt põllult teisele liikumiseks kokku kerida. Poolhaagisel ja liikurlaoturil on suurema läbimõõduga voolikutrummel, mille abil põllul edasi-tagasi liikudes ühel juhul keritakse voolik trumlilt maha ja teisel juhul trumlile tagasi.



Joonis 5.47. Ripp-vooliklaotur (Vacutec, 2012)

5.5.8.3 Vedelsõnniku laotamisnormi seadistamine

Vedelsõnnikulaoturi laotamisnormi seadistamisel mõeldakse vedelsõnniku kogust laoturi paagis ja pindala, mis laotati ühe koormaga. Laotamisnorm ja laotamisala sõltuvad liikumiskiirusest või käitusvõlli pööretest, laoturi pumba jõudlusest, siibri avatusest, tööõhust, laotamislaaiusest ja ülekatetest.



Joonis 5.48. Poolhaagis-vooliklaotur (Agrometer, 2012)

Laotamisnormi n (m^3/ha) leidmisel võetakse aluseks vedelsõnniku analüüsiga leitud taimetoitainete sisaldus ja määratakse laotamisnorm kas fosfori või lämmastiku sisalduse alusel järgmiselt:

$$n = \frac{F_n}{F_{vs}}$$

kus

F_n – taimetoiteaine vajalik hektarikogus, kg/ha,

F_{vs} – taimetoitainete sisaldus vedelsõnnikus, kg/m^3 .

Laotamisnormi ja vedelsõnniku väljalaadimisjõudluse, töölaaiuse ning liikumiskiiruse vahel on järgmine seos:

$$n = \frac{Q \cdot 36000}{b \cdot v}$$

kus

n – laotamisnorm, m^3/ha ,

Q – vedelsõnniku väljalaadimisjõudlus, m^3/s ,

b – laoturi töölaius, m,

v – töökiirus põllul, km/h.

Traktori tegeliku liikumiskiiruse määramiseks töökäigul kasutatakse kas GPS seadet või mõõdetakse ajavahemik teatud teepikkuse läbimisel ja arvutatakse kiirus km/h.

Väljalaadimisjõudluse Q (m^3/s) saab määrata järgmise seose alusel:

$$Q = \frac{V}{t}$$

kus

V – laoturi paagi maht, m^3 ;

t – paagi tühjendamiseks kuluv aeg, s.

Kui laoturi töölaius ja väljalaadimisjõudlus on teada, saab leida vajaliku töökiiruse v (km/h) järgmise valemi alusel:

$$v = \frac{Q \cdot 36000}{b \cdot n}$$

kus

Q - vedelsõnniku väljalaadimisjõudlus, m^3/s ,

b - laoturi töölaius, m,

n - laotamisnorm, m^3/ha .

Vedelsõnnikulaoturi sobivaima töölaiause leidmisel (juhul kui töölaius on muudetav näiteks üksikute laotamisvoolikute või sektsioonide sulgemise teel lohislaoturil) arvestatakse laoturi paagi mahtu, vedelsõnniku laotamisnormi, tööee pikkust põllul ja vedelsõnniku laoturi paagi täitmise võimalust (kas ühes või mõlemas põlluotsas). Laoturi suure töölaiause ja/või suure laotamisnormi korral tekib laoturi paagi ühes põlluotsas täitmise korral palju tühisõite, mille tõttu väheneb vedelsõnniku laotamise tootlikkus ja suureneb põllu tallamine.

Töökäikude arvu Z , mis on võimalik ühe paagitäiega laotada, saab leida seosega

$$Z = \frac{10 V}{L b n},$$

kus

V - laoturi paagi maht, m^3 ;

b - laoturi töölaius, m;

n - laotamisnorm m^3/ha ;

L - tööee pikkus põllul, m.

Laoturi paagi ühes põlluotsas täitmise korral on sobivaim selline töölaius, mille korral töökäikude arv Z on täisarvuline paarisarv. Kui töökäikude arv Z ei ole täisarv, kuid selle täisarvuline osa on paarisarv, siis võiks vähendada paagi mahu täidetust nii, et paagi mahust jätkuks paarisarvulise arvu töökäikude jaoks.

5.5.8.4 Laotamistehnoloogiate võrdlus

Lämmastikuühendite lendumine vedelsõnnikust

Vedelsõnnikuga väetamisel on keskkonnale peamiseks ohuks sõnnikust lämmastiku lendumine atmosfääri ammoniaagina ja lämmastikoksiididena ning leostumine nitraatidena pinna- ja põhjavette (Maves, 2005).

Ammoniaagi emissioon on suurem (Viil jt, 2012):

- vedelsõnniku ja mulla kõrgema pH,
- vedelsõnniku suurema kuivaine sisalduse,
- mulla ja õhu kõrge temperatuuri,
- laotamise aegse intensiivse päikesekiirguse ja
- laotamise aegse tugeva tuule korral.

Samas mulla suurema niiskuse korral eraldub ammoniaaki vähem.

Temperatuuri ja niiskuse mõju sõnnikus sisalduva ammoniumlämmastiku kaale ammoniaagi emissioonina (AGRI-FACTS, 2008) on esitatud tabelis 5.7.

Tabel 5.7. Ammooniumlämmastiku kadu (%) õhu erinevate temperatuuride ja niiskuste korral

Laotamise ja muldaviimise ajaline vahe	Keskmine	Jahe (< 10 °C)		Palav (>25 °C)	
		Niiske	Kuiv	Niiske	Kuiv
1 päev	25	10	15	25	50
2 päeva	30	13	19	31	57
3 päeva	35	15	22	38	65
4 päeva	40	17	26	44	73
5 päeva	45	20	30	50	80
Ei viida mulda	65	40	50	75	95

Mullapinnale laotamisel (paisk- või lohislaoturiga) tuleks see mulda segada vahetult peale laotamist. Kui seda ei tehta on esimesel laotamisjärgsel paaril tunnil lämmastikukadu väga suur ja võib ulatuda 9–10 kilogrammini hektari kohta. Lämmastikukaod on minimaalsed kui vedelsõnnik viiakse laotamisseadisega otse mulda (Viil jt, 2012). Ammoniaagi lendumisest tingitud keskmine lämmastikukadu sõltuvalt tehnoloogiast on esitatud tabelis 5.8 (Smith jt, 2000; Huijsmans, J.F.M., 2003; Misselbrook jt, 2005; Defra, 2006, PVT, 2007).

Tabel 5.8. Keskmised ammooniumlämmastiku kaod erinevate laotamistehnoloogiate korral

Laotamistehnoloogia	NH ₄ -N kadu, %
Paisklaotamine, muldasegamist ei järgne	70
Paisklaotamine, muldasegamine 12 tunni jooksul	55
Lohislaotamine, mullaga segamist ei järgne	24
Lohislaotamine, muldasegamine 12 tunni jooksul	10
Lohislaotamine kasvavatele taimedele (taimiku kõrgus on 10–30 cm)	20
Düüsigi lohislaotamine kasvavatele taimedele (taimiku kõrgus on vähemalt 8 cm)	18
Avalõhe-sisestus rohumaal	10
Laotamine sõbastamisega	5
Sulglõhe-sisestus rohumaal	1
Sulglõhe-sisestus põllumaal	1

Vedelsõnniku laotamisel mullale on levinud järgmised tehnoloogiad:

1. paisklaotamine ja sellele järgnev mullaharimine;
2. laotamine vahetult põllu pinnale ja sellele järgnev mullaharimine;
3. segamislaotamine;
4. sisestuslaotamine.

Vedelsõnniku laotamisel taimikule (oras või rohumaa) on levinud järgmised tehnoloogiad:

1. paisklaotamine;
2. laotamine vahetult põllu pinnale;
3. sisestuslaotamine;

Paisklaotamine põhjustab olulisi keskkonnaprobleeme ning selle korral ei ole tagatud laotamiskoguse ristsuunaline ühtlikkus. Kuigi meetodi eelisteks on suur tootlikkus ja masina lihtsusest tingitud väike soetusmaksumus, võib väärtalt toimides kaotada ammoniaagi lendumise tõttu kuni 70% lämmastikust ja tekitatakse oluliselt ebameeldivat haisu. Samuti saab võimalikuks oluline vedelsõnniku ärakanne põllult, kui pinnaveel on võimalik reljeefi ja mullapinna omaduste koosmõju tõttu voolata põllult ära mulda imbumata.

Kuna paisklaotamisel läbib vedelsõnnik märkimisväärse teekonna õhus, siis mõjutab nii töölaust kui ristsuunalist laotamisühtlikkust ilmastik. Tugev ja puhanguiline tuul tekitab tuulekannet, tugev vihm vähendab osiste lennukaugust.

Eeltoodud probleeme leevendab veidi mitme paiskuriga laotamisepoomi kasutamine. Kuid ka selle puhul jääb toitainete kasutamise efektiivsus sõltuma olulisel määral edasisest tegevusest. Kui sõnnik jääb kauaks põllu pinnale, on toitainete kadu ja sellest põhjustatud keskkonna kahjustamine paratamatu.

Eeltoodud põhjustel on paisklaotamine reeglina ebasoovitav ja tuleb kõne alla vaid tasastel, ühtlase pinnaga põldudel, kui laotamisele järgneb vahetult mullaharimine ja ilmastikuolud on soodsad (jahe, kõrge õhuniiskus, tuuletu, sademeteta).

Kuigi kasvavatele taimedele on võimalik anda vedelsõnnikut ka pealtväetisena, ei saa paisklaotamise tehnoloogiat keskkonnamõju ja toitainete kao tõttu soovitada.

Laotamine vahetult põllu pinnale on võimalik mitme tööseadisega - lohisvoolikud, düüsidega lohisvoolikud jt. Neile kõigile ühiseks tunnuseks on põllu pinnale jäävad vedelsõnniku ribad. Sõltuvalt vooliku omadustest ja kasutatavast hajutist võivad materjaliribade laiused olla mõnest sentimeetrist kuni paarikümneni. Kuna laotamiskohani viivad jaoturist algavad voolikud, on vedelsõnniku laotamisnorm ristsuunas ühtlane ja töölaust piiritletakse selgelt töökäigu servaga. Nii lihtsustub masinajuhi töö ja väheneb ülekatete või vahelejätude tekkimise oht. Samuti on välditud tuulekanne.

Selliselt laotatud sõnniku korral väheneb oluliselt keskkonna kahjustumine ja toitainete kadu, kuna erinevalt paisklaotamisest ei pea vedelsõnnik enam läbima pikka vahemaad õhus.

Kui laotamine toimub taimkatteta mullale, on soovitatav laotatud vedelsõnnik segada mullaga võimalikult kiiresti, tagamaks toitainete kättesaadavust mullaelustikule.

Kui laotatakse taimikule, siis tuleb töötamisel jälgida taimiku vigastamise - rehvidega tallamine, laotamisepoomi lohi-
semine taimikus - ulatust. Liikumissuuna valikul on taimedele

ohutuimaks osutunud töötamine 30-kraadise nurga all taimeridadega. Tuleb vältida korduvat sõitmist samas jäljes ja töötada võimalikult madala rehvirõhuga. Soovitatav on kasutada rehvide erinevates jälgedes liikumise võimalust (liikurmasinatel, mitmeteljelistel telikutel või haagise liigendtiisli korral).

Taimi vedelsõnnikuga pealt väetades tuleb arvestada taimede kasutusotstarbega. Kui teraviljade või õlikultuuride puhul ei ole taimelehtedele sattunud vedelsõnnik probleemiks, siis silokultuuride korral tuleb jälgida, et vedelsõnnik satuks taimede alla mulla pinnale ja mitte lehtedele. Probleem on tõsine laotamisele järgneva kuiva perioodi korral, kui laotamise ja saagikoristuse vahel ei esine piisavalt sademeid, mis uhuksid taimed puhtaks.

Sisestuslaotamine ehk laotamine vedelsõnniku muldaviimisega on oluliselt keskkonnasõbralikum vedelsõnniku kasutusviis. Selleks kasutatavad seadised (kiiljalased, vedrupiid, kädad, ketasseadised, lõheavardid) küll tõstavad seadme maksumust, vähendavad tootlikkust ja suurendavad veojõu vajadust, kuid vedelsõnniku paigutamine taimejuurte ja mullaelustiku vahetusse lähedusse võimaldab taimedel toitaineteid hästi ära kasutada.

Peamiseks puuduseks on vedelsõnniku ristsuunalise paiknemise perioodilises - vedelsõnnikut sisaldavad tsoonid paiknevad vaheldumisi seda mittesisaldavatega. Sõltuvalt kasutatavast seadisest saab vedelsõnniku paigutada 5–15 cm sügavusele (eriseadistega ka sügavamale). Mida sügavamale soovitakse sõnnikut paigutada, seda suurem on veojõu vajadus ja suurem seadme kivises maas purunemise oht. Eriti tundlikud on teatud suurusega kivide suhtes ketasseadised - on esinenud juhtumeid, kus konstruktsiooni eripära tõttu on sobiva suurusega kivi (mõõde sobitub ketta ja kanduri vahelise piluga) kiildunud ketta ja raami vahele ja ketta seisnud. Tulemuseks on ketta muutumine töökõlbmatuks kiire ja ebasümmeetrilise kulumise tõttu.

Kui suurenenud veojõu vajadust ei pruugi juht tunnetada, siis ketta kulumise tõttu ei satu vedelsõnnik seiskunud ketta kohalt enam ettenähtud sügavusele ja laotamiskvaliteet saab seetõttu rikutud. Olukorra muudab probleemseks selle raske avastamine - kui kettaid ükshaaval ei kontrollita, ei pruugi niimoodi liikumatuks muutunud ketast pelgal vaatlusel avastadagi enne, kui ketas on muutunud täiesti kasutuskõlbmatuks.

Muldaviimise seadmestikuga saab laotada nii mullale kui taimikuga põllule. Taimikuga põllule laotamiseks sobivad enam ketasseadised, kuna nende töö vigastab taimede juurestikku vähem. Vedrupii ja eriti lõikeseadmeta käppseadised lõhuvad laiema vao tekitamiseks mulda kõrvale lükates juurestikku kaks-kolm korda enam - tekkiv vaju on 3 cm asemel 6–8 cm laiune.

Vaatlused on näidanud, et kuigi tööseadise detailidega vahetult kokku puutuvad taimed võivad saada kahjustusi, ei mõju see pärssivalt saagikusele.

Laotamine mulda segava seadisega on vedelsõnniku kõige keskkonnasõbralikum laotamise viis - selliselt on mini-meeritud nii toitainete kadu lendumise teel kui vedelsõnniku ärakanne põllult pinnaveega. Viisi puuduseks on kasutatava tehnika kõrgem maksumus ja suurem veojõu vajadus. Oluise eelise annab kahe operatsiooni - mullaharimise ja vedelsõnniku laotamise ühitamisest tekkiv ajaline kokkuhoid.

Need masinad on koostatud vedelsõnnikulaoturist, millele on liidetud mullaharimise põimseade. Levinuim on rull-randaal. Vedelsõnnik antakse kas esimese kettarea ette või

kahe kettarea vahele. Selle tulemusena seguneb vedelsõnnik hästi mullaga, moodustamata vedelsõnnikust küllastunud ja seda mittesaanud tsoone.

Eriti hästi sobib selline meetod sügiseseks (ja teatud tingimustel ka kevadiseks külvielseks) mullaharimiseks, mille käigus antakse mullale ja taimedele vajalik baastoitainete kogus vedelsõnnikuga. Meetodi puuduseks võib lugeda sobimatust taimede kasvuajaks väetamiseks, sest mullaharimise seade hävitab taimiku.

6. POOLVEDEL SÕNNIK

6.1 POOLVEDELA SÕNNIKU OMADUSED

Poolvedel sõnnik ei ole virnastatav ega kergesti pumbatav (Pain ja Menzi, 2003). Sõnniku koostise nõuete (2011) kohaselt liigitatakse 8–19,9% kuivainesisaldusega sõnnik poolvedelaks. Sõnnikukäitlusseadmete tootjad määratlevad sageli poolvedelaks sõnnikut, mille kuivainesisaldus on 10–20%.

Sõnnik, mille kuivainesisaldus on vahemikus 15–20% ei voola enam kuigi hästi, kuid samas ta ei ole püsiv ka aunana. Poolvedelale sõnnikule sarnaselt käituvad ka sarnaste omadustega mudad ja neid käideldakse väetisena kasutamisel sõnnikule sarnaselt. Enamasti üritatakse nende materjalide niiskusesisaldust nii palju vähendada, kui see on veel majanduslikult otstarbekas ja muuta need taheda orgaanilise väetisena käideldavaks, et vähendada väetise hoiustamis- ja transpordikulusid. Poolvedelana on need aga käideldavad sarnaselt vedelsõnnikule.

Sõnniku käitumine oleneb ka selle osakeste suurusest. Liiva kasutamisel allapanuna suureneb küll kuivainesisaldus, kuid sõnnik käitub ikkagi nagu vedel- või poolvedel sõnnik (OSU, 2006).

Enamus allapanuta sõnnikut on sõnniku koostise nõuete (2011) mõttes poolvedel sõnnik. Näiteks 2012. aastal Põllumajandusuuringute Keskuses analüüsitud veisesõnniku-proovidest olid 56% poolvedelad sõnnikud, seasõnnikul oli poolvedelate proovide osakaal 25%.

8–17% kuivainesisaldusega veisesõnniku mahumass on 950–750 kg/m³ ja pH 7–9 (Leola jt, 2007). Lähtudes jaotises 4.1. esitatud seostest on 20% kuivainesisaldusega veisesõnniku mahumass 640 kg/m³.

Poolvedela sõnniku tootmine ei ole üldiselt soovitatav, kuna seda on keerukas nii laadida, transportida kui ühtlaselt laotada. Vahel lisatakse sõnnikule käitlemise lihtsustamiseks vett, kuid sel juhul on otstarbekam juba kogu tehnoloogia välja ehitada vedelsõnnikusüsteemina (Luts, 2009).

6.2 KÄITLUSTEHNOLOOGIAD

Kui poolvedel sõnnik on nii voolav, et seda on võimalik pumbata, siis kasutatakse enamasti vedelsõnnikutehnoloogiasid. Silmas tuleb aga pidada, et mida raskemini vedelik voolab, seda suurem on energiakulu pumpamisele. Seega on soovitatav kasutada poolvedela sõnniku käitlemisel otseveotehnoloogiat (st sõnnikut transporditakse ja laotatakse põllule sama masinaga), mispuhul ümberpumpamise vajadus on minimaalne (vt 5.3).

Kui poolvedela sõnniku laotamisel kasutatakse tahesõnnikulaotureid, siis on samuti soovitatav kasutada otseveotehnoloogiat, kuna seda materjali ei ole võimalik põlluservale aunastada ja ümberlaadimine põllul on tülikas (vt 4.2).

6.3 KÄITLUSOPERATSIOONID

6.3.1 HOIUSTAMINE

Poolvedela sõnniku hoidlas hoiustatakse korraga nii virtsa kui sõnnikut, kusjuures allapanumaterjal puudub või seda on kasutatud minimaalses koguses. Kuna poolvedelat sõnnikut ei ole võimalik kuhjata, piirab maksimaalset hoiustamiskogust hoidla täitmiskõrgus. Poolvedela sõnniku hoidla mahutavuse arvutamisel võetakse aluseks vedelsõnniku hoidlate kohta kehtivad nõuded.

Hoidla põrand ja seinad peavad olema veetihedad. Ehituslikult sarnanevad poolvedela sõnniku hoidlad tahesõnniku hoidlatega, maksimaalne ladustamiskõrgus võrdub sõnnikuhoidla seinaga kõrgusega (ca 1 m). Tingituna poolvedela sõnniku voolavusest peab maapealne hoidla olema piiratud seinaga kõigist neljast küljest või paiknema süvendis (nn laguun-tüüpi hoidlad).

Laguun-tüüpi hoidla kujutab endast kas osaliselt või täielikult maa sees asuvat ja veetihedat kolmest küljest seinaga piiratud ristkülikja põhiplaaniga rajatist. Hoidla ühel küljel on seinaga asemel kaldtee (kalle 1–20%), mida mööda

saab hoidlasse sisse ja välja sõita. See võimaldab sõnnikut hoidlasse lükata või kopplaaduri abil välja laadida. Seinad ehitatakse tehases valmistatud betoonelementidest või valatakse kohapeal monoliitbetoonist. Kuna hoidla asub süvendis, siis inimeste ja loomade ohutuse tagamiseks tuleb hoidla ümber ehitada maapinnast 1,2 m kõrgune kaitseaed. Maaepalne hoidla peab olema ümbritsetud veetiheidate piiretega kõikidest külgedest. Väljalaadimine saab toimuda sellisel juhul ainult pumbates (Leola jt, 2007).

6.3.2 LAOTUSEKS VALMENDAMINE

Nagu vedelsõnnikut, nii ka poolvedelat sõnnikut peaks võimaluse korral seguriga homogeniseerima (vt 5.5.3.2). DeLaval (2011) andmeil on pumpseguriga segatav kuni 10% kuivainesisaldusega sõnnik. Paraku ei ole õnnestunud kirjandusest leida sellist piirväärtust tiivikseguri jaoks.

Poolvedela sõnniku vedelsõnnikuna käitlemiseks, st paremini pumbatavaks ja vedelsõnnikulaoturiga laotatavaks muutmiseks, lisatakse sellele sageli vett. Laotuseelselt segatakse poolvedela sõnniku ja vee segu seguriga (vt 5.5.3.2) homogeenseks massiks.

Teine võimalus on poolvedelale sõnnikule lisada tahedat (põhku, turvast, saepuru vmt) materjali, et seda käidelda tahesõnnikuna. Taheda lisandi segamist poolvedela sõnnikuga on aga tehnoloogiliselt keerukam ja kulukam korraldada kui vee lisamist.

Nii vedeldamisel kui paksendamisel suureneb aga sõnniku kogus, mis tähendab ka suuremaid transpordi- ja laotusmahtusid võrreldes algsõnnikuga.

Järgmine variant on poolvedela sõnniku separeerimine vedelaks ja tahedaks fraktsiooniks (vt 5.5.2.1), mida saab eraldi edasi käidelda juba vastava vedel- või tahesõnnikuna. Sealjuures sõnniku summaarne kogus jääb ligikaudu samaks kui algsõnnikul. Sel juhul on otstarbekas sõnnikuhoidlad katta veekindla kattega, muidu ei oleks separeerimisel mõtet.

Separeerimine aitab optimeerida sõnniku transpordikulusid. Separeerimise tulemusel jääb enamus fosforiühendeid tahedasse fraktsiooni ja enamus ebastabiilsest ammooniumlämmastikust vedelasse fraktsiooni. Kaaliumiühendite jaotumist separeerimine ei mõjuta, sest neid on ligikaudu sama palju nii kilogrammis vedelas kui tahedas fraktsioonis. Separeerimata sõnniku kasutamist piirab enim hektari kohta lubatud fosfori kogus (25 kg) kui lämmastiku kogus (170 kg). Seega on võimalik separeeritud vedelat fraktsiooni kasutada hoidlalähedastel põldudel rohkem kui separeerimata sõnnikut. Taheda fraktsiooni veesisaldus ja seega transpordikulud toiteainete ja huumuse tekkeks vajaliku orgaanilise aine veoks on oluliselt väiksemad. Näiteks 1000 t 15% kuivainesisaldusega poolvedela sõnniku separeerimisel saadakse 600 t 25% kuivainesisaldusega tahedat fraktsiooni. Vedela fraktsiooni toitainete sisaldus (2 kg lahustuvat lämmastiku tonni kohta) on aga niivõrd madal, et seda on võimalik

küllaltki suure normiga laotada laudalähedastele põldudele. Kaaliumiga väetamist seadusandlus ei piira, kuid siiski tuleb jälgida, et seda toiteelementi põllule koos vedela fraktsiooni-ga ei annustaks nii palju, et see taimedele toksiliseks muutub.

Lisaks on võimalik hajutada sõnniku laotamist ajaliselt. Vedela fraktsiooni laotamine peaks toimuma siis, kui taimed saavad sõnnikus oleva lämmastikku kiiresti ära kasutada. Tahedat fraktsiooni saab laotada ka hilissügisel.

Separeerimisel on probleemiks täiendav investeeringuvajadus: separaator, tahesõnnikuhoidla, -laadur ja -laotur; ning separaatori käitus- ja hoolduskulud. Separeerimise majanduslik otstarbekus Eesti tingimustes vajab uurimist.

6.3.3 HOIDLAST LAADIMINE

Tsentrifugaalpumpadega (joonis 5.29a) on pumbatav kuni 15% kuivainesisaldusega materjal (Fulhage ja Pfof, 2001). Mõned tootjad lubavad kasutada oma pumpadel, mis on varustatud löikeseadmega söödajääkide ja allapanu peenestamiseks, ainult kuni 12% kuivainesisaldusega vedelsõnnikut (Lothar Becker, 2012).

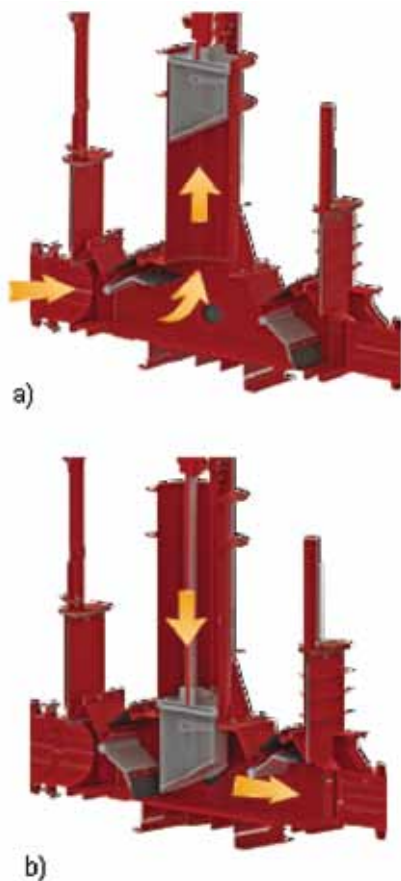
Sarnaselt teiste poolvedelate materjalide teisaldamisega sobib ka poolvedela sõnniku teisaldamiseks ekstsentriskruvi-pump (joonis 5.31). Spetsiaalselt poolvedela sõnniku teisaldamiseks on projekteeritud joonisel 6.1 olev kolbpump. See suudab pumbata poolvedelat sõnnikut kuni 100 m kaugusele (Jamesway, 2012).

Kui poolvedel sõnnik ei ole pumbatav, siis kasutatakse selle hoidlast veokile laadimiseks kopplaadurit. Sel juhul peab hoidla konstruktsioon võimaldama kopplaaduril sõnnikut sealt kätte saada.

6.3.4 LAOTAMINE JA MULDA VIIMINE

Poolvedela sõnniku kuivainesisaldusest sõltub laoturitüüp, millega seda laotada saab. Kuni 9% kuivainesisalduse korral saab kasutada enamikke vooliksüsteemidega laotureid, kuni 12% kuivainesisaldusega korral on võimalik kasutada paisklaoturit (vt. 5.5.8.2). Tahesõnniku laoturiga on laotatav sõnnik, mille kuivainesisaldus on vähemalt 15%.

Poolvedela sõnniku kuivainesisaldusest sõltub ka see, kui suurt haardelaiust vooliksüsteemidega laotusseadmel on võimalik kasutada. Mida laiem seade, seda pikemad on laotusvoolikud ja seda raskem on poolvedelat sõnnikut neist läbi pumbata. Sõnniku kuivainesisalduse suurenedes voolutakistus kasvab veelgi. Kui väiksema tööajusega laoturiga on suhteliselt paksu materjali võimalik veel laotada, siis laiema-ga enam mitte. Kompressor-vaakumpumbaga laoturi puhul tuleb jälgida ka, et paagis ei ületataks suurimat lubatud ala- ja ülөрhku (vt k 5.5.8.2 Laoturite pumbad). Eriprojekti raames on ehitatud vedelsõnniklaotur ümber poolevedela sõnniku laotamiseks (joonis 6.2), mis peamiselt tähendab tavapärasest jämedamate voolikute kasutamist. Joonisel oleval laoturil asendati seetõttu ka 3 cm laiused piid 5 cm laiustega.



Joonis 6.1. Poolvedela sõnniku pumpamiseks mõeldud kolbpumba tööpõhimõte: a) sõnniku imemine pumba silindrisse ja b) sõnniku surumine silindrist välja (Jamesway, 2012)

Paraku ei ole teada uuringut, mis selgitaks teatud kuivainesisaldusega poolvedela sõnniku laotavust sõltuvalt haardelaiusest - näiteks lohislauturite korral.



Joonis 6.2 Poolvedela sõnniku laotamine kombineerituna rapsi külviga (Stroco Agro, 2012)

Poolvedelat sõnnikut on võimalik laotada ka mitmesuguste tahesõnnikulaoturitega. Sobivaim on selline, mille punker-

mahuti põhjas (vt 4.3.5.2) on etteandeseadmeks tigukonveier ja külglautuseks rootorseadis (joonised 6.3 ja 6.5). Neil laotureil on sageli punkri ülaseriv sissepoole pööratud, et takistada vedeliku välja loksumist (joonis 6.4).



Joonis 6.3. Külgväljutuse ja punkermahutiga rootorlaotur sobib ka poolvedela sõnniku laotamiseks. Laoturi ratta ees on näha välimine osa laotamisseadisest (Richard Western, 2012)



Joonis 6.4. Mahuti ülemine serv on sissepoole pööratud et vähendada vedela materjali üle serva loksumise võimalust (Richard Western, 2012)

Tigukonveieril on üks või mitu pikisuunas paiknevat tigu. Tigukonveieri tööks peab laoturi mahuti olema alt suletud. Pöörlevaid teod liigutavad laotatava materjali laotamisseadisele. Kolme teoga konveieril paiknevad kaks tigu allpool kõrvuti ja kolmas nende kohal. Ülemine tigu pöörleb vastupidises suunas kahe põhjas paiknevaga, et vältida laotatava materjali võlvumist laotamisseadise kohal (Langley, 2005).

Kahe teoga etteandel veab alumine tigu laotatava materjali laotamisseadisele ette (joonis 6.5). Alumisest teost diagonaalis kõrgemal asetsev tigu veab materjali vastupidises suunas, et alumine tigu paremini täituks (Kuhn, 2009).

Laotamisseadmena kasutatakse neil laotureil vasarlaotusseadist (joonised 6.5 ja 6.6).

Masinatootjate hinnangul sobivad nende külgväljutusega punkerlaoturid mitmesuguse kuivainesisaldusega orgaanilise väetise laotamiseks alates vedelsõnnikust kuni tahesõnnikuni sõltumata allapanu liigist ja samas on kohased ka allapanu laotamiseks laudas (Kuhn, 2009).



Joonis 6.5. Kahe teoga etteandeseadis. Punkri esiosas vasakul on vasarlaotusseadis, millele on antud pildil joonistatud ainult üks vasar (tegelikult on neid 12–18). Laotamisel tungib vasar hooga teo poolt etteantavasse materjali, haarab sealt portsjoni ja heidab selle alt üles põllule laiali kuni 20 m kaugusele (Kuhn, 2009)



Joonis 6.6. Külgväljutusega punkerlaoturi vasarlaotusseadis (Kuhn, 2009)

Ka külglautusega kootlaoturid (vt 4.3.5.2 joonised 4.25 ja 4.26 on kasutatavad poolvedela sõnniku laotamiseks (Fulhage ja Pfof, 2001).

Hanna jt (2008) poolt tehtud uurimuse kohaselt on külglautamisega laoturite laotamisühtlikkus mõnevõrra kehvem tahalaotamisega laoturite omast.

Poolvedela sõnniku laotamiseks sobib ka tahalaotamisega tahesõnnikulaotur, millel on kastmahuti, vootõke ja laotamiskettad (joonis 6.7). Sel juhul peab kasti põhi olema

kinnine ja vootõke piisavalt tihe, et transpordi ajal sealt sõnnik läbi ei pääseks.

Laoturi kasti täitmisel poolvedela sõnnikuga tuleb jälgida, et laoturi kandevõimet ei ületataks, kuna see võib olla projekteeritud suurema kuivainesisaldusega ja seega enamasti väiksema mahumassiga tahesõnniku laotamiseks. Teiseks tuleb arvestada kallakutega laoturi liikumistekonnal, et sõnnik üle laoturi kasti serva ei voolaks.



Joonis 6.7. Ketaslaotamisseadmega kastlaotur. Ülemise biitri kohal on näha vootõkke alumine serv koos kummitihendiga. Tootja väitel sobib laotur nii vedel- kui tahesõnniku laotamiseks (Jeantil, 2012)

7. LUBIVÄETISED

7.1 ÜLEVAADE LUBIVÄETISTEST

Lubiväetis ehk meliorant on lubiaine, mis on ette nähtud happeliste muldade ja turba füüsikaliste ning keemiliste omaduste parandamiseks soodustamaks taimede kasvu ja saagi kvaliteedi paranemist.

Suurem osa taimi vajab oma kasvuks nõrgalt happelist kuni neutraalset mulla happesust (pH 5,5–7). Selleks et saada sobiva happesusega mulda, tuleb seda neutraliseerida lubiväetise abil.

Eestis enamkasutatavad lubiväetised on: klinkritolm, tolmpõlevkivituhk, lubjakivijahu, dolokivijahu (dolomiidijahu) ja taimse materjali – puidu, turba vm põletamisel saadud tuhk, (Järvan ja Järvan, 2010).

Eestis on kasutatud veel magevee lubisetteid, seda muldade lupjamise algusaegadest kuni 1960-ndate aastateni, mil uudsete tehnoloogiate areng võimaldas üle minna paremini kättesaadavatele ja efektiivsematele tolmjatele lubiväetistele. Tolmjateks lubiväetisteks loetakse klinkritolmu ja tolmpõlevkivituhka. Ülejäänud meliorante loetakse nõrgalt tolmjateks lubiväetisteks.

Tänapäeval võib kohalike lubisette kasutamine lähikonnas asuvate põldude lupjamiseks päevakorral tõusta juhul, kui muude meliorantide kasutamine on kulukam.

Magevee lubisetted esinevad Eestis nõrglubja ja järvelubja (järvekriidi) lasunditena, millest valdav osa on põhjalikult läbi uuritud ja üksikasjalikult trükitis avaldatud (Järvan ja Järvan, 2010; TTVK, 1996).

Nõrglubjalasundid paiknevad tavaliselt oruveergudel. Nad on enamasti pealpool põhjavee piiri, mis hõlbustab nende kasutusele võtmist. Sageli on siiski takistuseks lasundeid ümbritsev allikaterikas soostunud ala. Nõrglubjalasundid on tavaliselt kaetud paarikümne sentimeetri paksuse hästikõdunenud turvasmulla kihiga. Puhast nõrglubja, mis on värvuselt valge leidub harva. Rauaühendite tõttu on see enamasti pruun või kollakas. Oma struktuurilt on nõrglubja pulbriline või peeneteraline.

Järvelubi on tekkinud umbjärvedes. Sellised järved on enamasti kinni kasvanud ning nende põhjas tekkinud lubjalasundeid katab turvas, harva ka vesi. Pindalalt on järvelubjalasundid hoopis suuremad kui nõrglubjalasundid, ka on neid kattev turbakiht tunduvalt paksem. Järvelubi on oma struktuurilt samuti pulbriline. Sageli on ta aga järvetaimede juurtest tugevasti läbi kasvanud, sisaldab rohkesti saviosaakesi ja orgaanilist ainet. Seetõttu on niiske järvelubi märksa halvemate külvi ja laotamisomadustega kui nõrglubja. Samuti on selle lademed raskemini ligipääsetavad ja vajavad ammutamiseks kuivendamist (Järvan ja Järvan, 2010).

Klinkritolm ja tolmpõlevkivituhk on tööstuse karbo-

naatsed tootmisjääd, mis sisaldavad lisaks kaltsiumile ka kaaliumit, magneesiumit, väävlit, fosforit ja mikroelemente. Klinkritolm on tsemenditootmise ja põlevkivituhk elektri- jaamades elektri tootmise jääkprodukt.

Tolmpõlevkivituhk läbib jäägitult 0,25 mm sõela ega sisalda üldse vett. Tolmpõlevkivituhka omadused varieeruvad olenevalt sellest, millises tehnoloogilise protsessi faasis või millisel tehnoloogilisel režiimil tuhk tekib (Järvan ja Järvan, 2010). Lubiväetisena on tolmpõlevkivituhk palju häid omadusi: ta on suure neutraliseerimisvõimega, hea lahustuvusega, peen ja kuiv ega sisalda kuigi palju kahjulikke elemente (Mölder, 2011).

Klinkritolm on tsemenditootmise jääk. Eestis toodab tsementi AS Kunda Nordic Tsement. Klinkritolm on oma suure peensusastme (osakeste suurus alla 0,1 mm) ja hea lahustuvuse tõttu kiire toimega. Klinkritolmu puistemass on 0,9–1 t/m³ (Bogun, 1999).

Eelmise sajandi teises pooles on katsetatud granuleeritud klinkritolmu ja tolmpõlevkivituhka efektiivsust meliorandina. Selgus, et klinkritolmu ja põlevkivituhka granuleerimine vähendab oluliselt nende meliorantide efektiivsust, kuna graanulid tsementeeruvad mullas. Seetõttu on soovitatav neid materjale kasutada tolmjal kujul (Järvan ja Järvan, 2010).

Lubjakivi- ja dolomiidijahu tekib lubjakivi ja dolomiidi jahvatamisel. Lubjakivijahu koosneb põhiliselt kaltsiumkarbonaadist ja sisaldab üle 30% Ca, lisaks sisaldab veel ~2% Mg. Dolomiidijahu koostises on kaltsium- ja magneesiumkarbonaadid. Puhas dolomiidijahu sisaldab 18–20% Ca ja 11–12% Mg (Bogun, 1999).

Lubjakivijahuks nimetatakse toodet, mille osakesetest 98% läbib 2×2 mm avadega sõela ning 50% läbib 0,15×0,15 mm avadega sõela. Ka dolomiidijahu peab vastama samadele nõuetele, kuid lisaks peab ta sisaldama veel ka vähemalt 7% magneesiumi. Lisaks jahudele toodetakse ka märksa jämedama fraktsiooniga lubjakivi- ja dolomiidipuru, mis oma keemiliselt koostiselt on sarnased jahudele, kuid lahustuvad vees aeglasemalt ning on seetõttu aeglasema, kuid see-eest pikema mõjuga (Mölder, 2011). Lubjakivijahu puistemass on 1,48 t/m³ (Bogun, 1999).

Puhas lubjakivijahu on liiga ühekülgne kaltsiumi poolest ja puhas dolomiidijahu on liiga ühekülgne magneesiumi poolest. EMVI pikaajalised uuringud on näidanud, et happeliste muldade lupjamine lubja- ja dolomiidijahu segudega vahekorras 1:1 kuni 3:1 andis paremaid tulemusi kui puhta lubjakivijahu või dolomiidijahu kasutamine.

Eelpool kirjeldatud materjalide doseerimisel lendub rohkelt tolmu, mis muudab töökeskkonna ebameeldivaks ja ebatervislikuks. Selle vältimiseks lubjakivi- ja dolomiidijahusid granuleeritakse. Graanulid meenutavad oma kuju ja

suuruse ning kasutusomaduste poolest granuleeritud väetisi (Mölder, 2011). Need tooted on küll kallimad kui töötlemata jahud, kuid eeliseks on väiksem tuule mõju laotamisühtlikkusele ja keskkonna reostamine lubiväetistega.

Lubjakivi- ja dolomiidijahud toimivad aeglaselt kui klinkritolm ja põlevkivituhk (Järvan ja Järvan, 2010).

Puutuhk on heaks kaaliumi, kaltsiumi, magneesiumi ja fosfori allikaks. Turbatuhk sisaldab puutuhaga võrreldes kaltsiumit, kaaliumit ja magneesiumit vähem, kuid rohkem räni, rauda ja alumiiniumi (Järvan ja Järvan, 2010).

Puutuhka on lubatud kasutada meliorandina siis, kui ei ole põletatud liimpuitu, kemikaalidega töödeldud, keskkonnaohtlikke värvitud, lakkide, õlide ja määretega töödeldud või nende ainetega määrdunud puitu (Maaparandustöödele esitatavad nõuded, 2012).

Puutuha omadused varieeruvad väga laiades piirides. Parimaks peetakse kasepuidu põlemisel tekkivat tuhka, selles on kaaliumi 3 ja fosforit 2 korda rohkem kui kuusepuidu tuhas. Lisaks neutraliseerivatele omadustele sisaldab puutuhk arvestataval määral ka peaaegu kõiki teisi taimekasvuks vajalikke aineid, välja arvatud lämmastik ja väävel. Kui puutuhka turustatakse meliorandina, peab tema neutraliseerimisvõime olema vähemalt 10% (kaltsiumiks arvestatuna, Mölder, 2011).

Turbatuha neutraliseerimisvõime on võrreldes teiste lubimaterjalidega madal, ka on selles kaltsiumi, kaaliumi, magneesiumi ja mikroelemente vähem kui puutuhas. Kaasajal on mõnede Eesti teadlaste poolt välja öeldud seisukoht, et turbatuhk ei sobi oma koostise tõttu metsa- ja põllukultuuride väetamiseks ning seetõttu on selle kasutusvaldkond piiratud. Briketituhka kasutamise on Saksa teadlased juba ammu taimekasvatuse ja mulla seisukohalt tunnistanud ebasobivaks (Järvan ja Järvan, 2010).

Puutuhaga töötamisel tuleb arvestada, et tuhk mõjub ärritavalt nii hingamisteedele kui nahale. Tolmava tuha käitlemisel on soovitatav kanda kaitseriietust ja respiraatorit. Tuhk on leeliseline materjal (pH 9–13). Tuhaga kokkupuutunud nahka tuleks loputada jaheda veega. Värske tuha laotamisel tuleb silmas pidada, et see võib sisaldada kuumi söetükke, mis on nii tervise- kui tuleohtlikud (Risse ja Harris, 1999).

Eestis reguleerivad lubiväetistega seonduvat peamiselt kaks õigusakti (Riigi Teataja; Järvan ja Järvan, 2010):

- 1) nõuded väetise koostisele väetise liikide kaupa;
- 2) maaparandushoiutöödele esitatavad nõuded, 5. ptk „Muldade lupjamistööd“.

Lähtuvalt viimasest on arvestatud riigitoe abil lupjamisel kasutatavateks lubiväetisteks:

- 1) klinkritolm;
- 2) põlevkivituhk;
- 3) lubjakivijahu;
- 4) dolokivijahu;
- 5) puu-, õle-, põhu-, heina- ja turbatuhk.

7.2 LUBIVÄETISTE LAOTAMISE AGROTEHNILISED TAHUD

Enamik kultuurtaimi eelistavad neutraalset või nõrgalt happelist mulda, mille puhul on toitainete omastamiseks head tingimused. Külvikorras tasuks lubiväetisi anda esmajoones nende kultuuride alla, mis lupjamisele kõige paremini reageerivad. Sellised kultuurid on: nisu, oder, hernes ja raps. Otstarbekas on lubiaine anda külvieelse mullaharimise alla, et neutraliseerida eeskätt seemnete idanemiskeskkond. Aeglaselt idanevate ja peenseemneliste kultuuride puhul on soovitatav kiiretoimelised lubiväetised (põlevkivituhk, klinkritolm) anda mulda vähemalt paar nädalat enne seemnete külvi.

Lupjamistööd on võimalik teha põhimõtteliselt aastaringselt. Tingimuseks on, et peetakse kinni seadusega kehtestatud nõuetest. Kultuuride, välja arvatud rohumaad, kasvuajal ei ole põldude lupjamine üldiselt võimalik. Lupjamistöõde raskuspunkt langeb siiski paratamatult koristusjärgsele perioodile ja varakevadele (Järvan ja Järvan, 2010).

Künnipõhisel harimisel on soovitatav enne lubjatud põllu kündi lubiväetis pindmiselt mullaga segada, et meliorant oleks künnikihis ühtlasemalt jaotunud (Galler, 2007).

Minimeeritud harimisel, kui mulda ei künta, tuleks vältida suurte lubjanormide andmist ühekorraga, sest muidu jääb lubiaine mulla pindmisse kihti liiga kõrges kontsentratsioonis. Lubiaine on soovitatav segada ühtlaselt vähemalt 5 cm tusedusse mullakihti. Minimeeritud harimise korral mõjutab lupjamine alumiste mullakihtide happesust aeglaselt ning märksa vähem kui pindmises kihis.

Otsekülvitehnoloogiate puhul, kus mullakihte enam üldse ei liigutata ega ümber ei pöörata, on happeliste muldade reaktsiooni parandamine üsna suur probleem. Üldlevinud soovitus on, et enne otsekülvi üleminekut tuleb ülemine mullakiht vähemalt 15 cm tuseduses neutraliseerida optimaalse pH-ni. Selleks tuleb lubiained kas künni või muu harimisvõttega korralikult mulda segada (Järvan, 2012).

Puutuhaga lupjamiseks on parim aeg sügis. Siis on küllaldaselt aega, et tuhk jõuaks mullaga reageerida enne kevadist kiiret taimekasvu algust. Puutuhaga ei tohiks lubjata vahetult enne külvi või istutamist või taimede tärkamist, sest lupjamise järel lühiajaliselt tekkiv tugevalt leeliseline keskkond võib häirida taimede arengut. 3–5 päeva enne või pärast puutuhaga lupjamist ei ole soovitatav põllul kasutada taimekaitsevahendeid, sest tuhk võib neid absorbeerida ja toimet vähendada (Järvan ja Järvan, 2010).

7.3 LUBIVÄETISTE KÄITLUS-TEHNOLOOGIAD

Põllumajandusettevõttes lubiväetiste hoiustamisnõuete tagamine suurtes kogustes pikemaajalisel ladustamisel on kulukas. Tolmjate lubiväetiste transpordiks ja laotamiseks tuleb üldiselt kasutada kalleid eriseadmeid, mille aastakoormus on aga enamikus põllumajandusettevõtetes küllaltki väike.

Seetõttu on otstarbekas lasta põlde lubjata teenuse korras, mis hõlmab kõiki operatsioone alates lubiväetiste hoiustamisest tarnija juures kuni põllule laotamiseni.

Lubiväetiste käitlustehnoloogia on sel juhul enamasti järgmine:

- 1) transport veokiga tarnija hoidlast põllule;
- 2) põllul laadimine veokist laoturisse;
- 3) laotamine.

Võimalik on lubiväetisi põllul ka vaheladustada, et vähendada ettevedavate veokite ja laoturite ooteaegu. Vaheladustamisel peab aga silmas pidama nõudeid lubiväetiste käitlemisele (vt 7.4.1). Vaheladustamisega käitlustehnoloogia on järgmine:

- 1) vajadusel lubiväetiste vaheladustamiskoha ettevalmistamine põllul (vt 7.4.6);
- 2) lubiväetiste transport veokiga tarnija hoidlast põllule;
- 3) lubiväetiste laadimine vaheladustamisplatsile;
- 4) vajadusel lubiväetiste kuhja katmine vee- ja tuulekindlalt;
- 5) lubiväetiste laadimine kuhjast laoturisse;
- 6) lubiväetiste laotamine.

Masinatega töö lõpetamisel ja tööks ettevalmistamisel tuleb erilist tähelepanu osutada nende puhastamisele meliorandi jääkidest: laoturite etteande- ja laotusseadmete käitamine tühjal, pneumolaoturite etteande ja laotamissõlmede ning õhustusseadmete läbipuhumine suruõhuga. See on vajalik kuna tihenend dispersse materjali elektrostaatiliselt „kleepumise” korral ning eriti tema niiskumisel koos sellele järgneva (klinkritolmu ja põlevkivituha) tsementeerumisega kuivamisel, on masina sõlmede töövõime taastamine seotud olulise töökuluga, mõnikord muutub isegi võimatuks tema kasutamine edaspidises töös (Bogun, 1999).

Mitmel pool maailmas on katsetatud ka lubiväetiste ja vedelsõnniku segu laotamist vedelsõnnikulaoturiga. Kuna meliorant tõstab vedelsõnniku pH-d, siis see omakorda soodustab vedelsõnnikus oleva ammooniumi lagunemist vesinikuks ja ammoniaagiks, mis on kergesti lenduv lämmastikuühend (vt 5.5.2.2). Seetõttu on lubiväetiste-vedelsõnniku segu laotamine üldiselt ebasoovitav. Samas ei ole teada katseid, kus oleks sellist segu laotatud sisestus- või segamislaoturite abil (vt 5.5.8), mispuhul ammoniaagi lendumine on väiksem.

Lisaks lämmastikukaole on selliste segude käitlemisel probleemiks lubiväetiste kiire settivus, mistõttu tuleb kasutada vedelsõnnikulaotureid, kus saab väetisi pidevalt segada (Galler, 2007).

7.4 KÄITLUSOPERATSIOONID

7.4.1 NÕUDED LUBIVÄETISTE

KÄITLEMISELE

Hoiustamine.

Tolmjaid lubiväetisi peab hoidma (Maaparandushoiutöödele esitatavad nõuded, 2012):

- 1) sademete- ja tuulekindlas kuivas hoidlas;
- 2) hoidla puudumise korral maapinnast niiskuskindlalt isoleeritud, vee- ja tuulekindla katte all mitte kauem kui 30 ööpäeva.

Mõningate lubiväetiste tootelehel on nõudena määratud ka, et hoiustamisel tuleb vältida reostumist kõrvaliste lisanditega ja kokkupuudet hapetega (Nordkalk, 2012).

Vedu

Tolmjaid lubiväetisi peab vedama paakveokiga, mis on varustatud pneumaatilise laadimiseseadmega. Puu-, õle-, põhu-, heina- ja turbatuhka võib vedada ka sademete- ja tolmu-kindlalt suletud konteinerites, nõudes või koormates.

Enne laoturisse laadimist ei tohi lubiväetiste niiskus ületada:

- 1) klinkritolmu ja tolmpõlevkivituha puhul 2%;
- 2) lubjakivi- ja dolokivijahu ning puu-, õle-, põhu-, heina- ja turbatuha puhul 6%.

Lubiväetiste hoidmise ja veo tehnika peavad välistama lubiväetiste tihenemise või suurte tükkide tekkimise, sest need raskendavad nende ümberlaadimist ja laotamist (Maaparandushoiutöödele esitatavad nõuded, 2012).

Laotamine

Lubiväetisi võib laotada ühel korral kuni 5 t/ha. Suurema annuse korral laotatakse neid kahe aasta jooksul. Laotamiskordade vaheline aeg peab olema vähemalt pool aastat. Kui lubiväetisi laotatakse jaotatult, peab vähemalt ühel korral olema laotamine tehtud lubjakivi- või dolokivijahuga või nende seguga.

Rahvusvahelise (ISO) standardi nõuete kohaselt ei tohi põllule tegelikult antava meliorandi keskmine hektarikogus erineda soovitud laotusnormist rohkem kui $\pm 10\%$ võrra (Bogun, 1999).

Lubiväetiste laotamise ebaühtlikkus ei tohi ületada 35%. Kõlviku äärtes võib lubiväetiste laotamise ebaühtlikkus ühe tööee ulatuses olla kuni 1,5 korda suurem kui kõlviku sisealal.

Vältimaks lupjamisnormi ohtlikku ületamist, tuleb töö käigu lõpus pöördribale jõudmisel lubiväetiste laotamine katkestada ja lubjata pöördribad pärast põllu põhiosa (Järvan ja Järvan, 2010).

Vältida tuleb lubiväetiste sattumist väljapoole kõlviku piire. Nõrgalt tolmjaid lubiväetiste laotamine tuule kiirusel üle 7 m/s ja tolmjate lubiväetiste laotamine tuule kiirusel üle 5 m/s on keelatud.

Puutuhaga lupjamise aeg ja laotamise tehnika peavad välistama puutuhaga vahetu kokkupuutumise idanevate

seemnetega, tärgranud noortaimedega või taimede juurtega.

Nõuded lubiväetiste laotamisele lumele

Lubiväetiste lumele laotamise nõudeid kohaldatakse, kui lumekatte paksus on üle 5 cm. Lubiväetisi ei tohi lumele laotada maa-alal, mille maapinna kalle on üle 2,5%. Jäätunud lumepinda peab enne lubiväetiste laotamist kobestama. Tolmjaid lubiväetisi peab pärast laotamist lumega segama. Lumele lubiväetiste laotamise tehnika peab tagama nende nõuetekohase laotamise (Maaparandushoiutöödele esitatavad nõuded, 2012).

Lubiväetiste lumele laotamisel on järgmised eelised (Järvan ja Järvan, 2010):

- ei takista kevadiste põllutööde läbiviimist, eriti kui need satuvad väga lühikesele ajavahemikule tingituna näiteks ebasoodsatest ilmastikuoludest;
- lumikate muutub lupjamisel tumedamaks ja lumi sulab kiiremini - see toob mullaharimisperioodi alguse varasemaks;
- võimalus lubjata turvasmuldi keltale enne selle sulamist;
- rasked veokid ja traktorid ei tihenda mulda, mis võimaldab lubjata ka liigniiskeid muldi.

7.4.2 LAOTAMISEKS VALMENDAMINE

Enamik lubiväetistest müüakse juba sellisel kujul, et enne laotamist need ei vaja täiendavat valmendamist, kui on täidetud nõuded lubiväetiste käitlemisele.

Kuiva puutuha laotamine on tol mavuse tõttu raskendatud. Tolmava puutuha korral on raske saavutada nõutavat laotamisühtlikkust, samuti võib sellega kaasneda risk töötajate tervisele. Välismaises kirjanduses pakutakse ühe võimalusena tol mamise vältimiseks laotamiseelset veega niisutamist (Kopecky, 1995). Samas kui tuhk on liiga märg, moodustuvad kamakad ja jaotumus põllule muutub ebahühtlasemaks.

Tuha niisutamiseks kasutatakse tigusegureid kuhu pihustatakse vajalik koguses vett, nii et tuha niiskus oleks 30–40%. Niisutatud tuhk jäetakse 7–14 päevaks seisma, mille vältel tuhk klombistub. Enne laotamist niisutatud tuhk sõelutakse ja suuremad klombid purustatakse kopp-purusti abil (joonis 7.1). Laotatava materjali osakeste suurus varieerub tol must kuni mõne sentimeetrini, mahumass on 700–800 kg/m³ ja niiskussisaldus 25% (Vesterinen, 2003). USA põllumeeste arvates on niisutatud tuha laotamiseks sobivaim tahesõnniku laotur (Kopecky, 1995).

Teiseks võimaluseks tol mavuse vähendamiseks on puutuha granuleerimine. Soomes on välja töötatud tehnoloogiad nii veega segatud tuha kui tselluloositehastest tulev mudaga segatud tuha granuleerimiseks. Vee baasil granuleeritud tuha mahumass on 900–1000 kg/m³ ja niiskussisaldus 12%. See võimaldab vähendada tuha transpordikulusid. Tänu granuleerimisele on tuha toimeaeg pikem ning pH-šokk mullale ja taimikule väiksem võrreldes tol mja tuhaga. (Vesterinen, 2003).



Joonis 7.1. Kopp-purustis on trummelfrees, mis peenestab kopas olevat materjali nii kaua kuni see freesi all olevast sõelast läbi variseb (Allu Group, 2013)

7.4.3 VEDAMINE HOIDLAST PÕLLULE

Tol mjaid lubiväetisi veetakse paakveokitega, mis on varustatud pneumaatiliste laadimiseadmetega (Montex, 2012). Nõrgalt tol mjaid lubiväetisi transporditakse enamasti kal lurhaagistega. Veokite kastid peavad olema suletud sademete- ja tol mukindlalt.

7.4.4 VAHELADUSTAMINE PÕLLULE

Vaheladustamiseks laaditakse väetis veoki kastist välja vaheladustamisalale enamasti veokil endal oleva laadimissüsteemi abil - kas kasti kallutades või põhjakonveierit kasutades.

Lisaks käitlemisnõuetele (vt 7.4.1. Hoiustamine) tuleks lubiväetiste põllule vaheladustamisel silmas pidada, et (BISZ, 2012):

- ladustama peaks võimalikult lähedale lubjatavale põllule;
- ladustamiskoht ei tohi olla liiga lähedal kraavidele, puudele, elektriliinidele, mastidele jmt;
- ladustamiskohta peavad veokid ligi pääsema;
- ladustamiskohas ei tohi teha eelnevat sügavkobestamist, vastasel juhul muutuks pinnas veokitele raskesti läbitavaks;
- ladustamisplats ei tohiks olla puude varjus, et päike ja tuul saaksid kuhja pinda kiiresti kuivatada;
- ladustamisplats ei tohiks asuda nõlval ega lohus, kus vihmavesi saab voolata kuhja alla ja sinna koguneda;
- mujale kui põllule vaheladustamine ei ole soovitatav;
- ladustamisplats peab olema vaba kividest, puutükkidest jms, mis võivad laadimise käigus laoturisse sattuda;
- ladustamist kasvava taimikuga alale (näiteks rohumaa) tuleks võimalusel vältida, kuna laadimisel laoturisse sattuvad taimeosad võivad seadmed ummistada; vajadusel tuleks pikakõrreline taimik pindmiselt mullaga segada (näiteks kergrandaaliga) või purustada trummelniidukiga.

Väliskirjandusest võib leida ka soovitusvariante, mida teha lubiväetise kuhjaga, et sealt ei toimuks tuuleerosiooni (Penny S. - A., 2006):

- 1) kuhi katta koormakatetega;
- 2) kuhi ümbritseda kolmest küljest põhupallidega nii, et kuhja lahtine külg oleks vastu valdavat tuulesuunda;
- 3) kuhi impregneerida spetsiaalse kunstliku stabilisaatoriga (näiteks 100-tonnisele lubiväetise kuhjale pritsida segu, milles on 20 l stabilisaatorainet ja 400 l vett);
- 4) kuhjale pritsida vees lahustatud ammooniumväetist (100-tonnise lubiväetise kuhjale pritsida segu, milles on 120 kg ammooniumväetist ja 600 l vett).

Eestis on sademeterikka ilmastiku tõttu sobivam kasutada esimest meetodit. Kahe viimase meetodi puhul ei ole teada, kui võrd hästi need kuhja sisemust vihmavee eest kaitsevad.

7.4.5 LAADIMINE LAOTURILE

Põllul lubiväetiste laoturisse laadimise tehnoloogia jaguneb etappide arvu järgi üheetapiliseks ja kaheetapiliseks.

Üheetapilise laadimise korral laaditakse lubiväetised veoki mahutist otse laoturi mahutisse.

Kaheetapilisel variandil laaditakse lubiväetised esmalt veoki kastist välja kas (vahe)laaduri mahutisse või maha hunnikusse.

Kastveokist lubiväetiste üheetapiliseks laadimiseks sobib tehnoloogiliselt hästi tõstetava kastiga veok: kasti tagumine ots tõstetakse laoturi punkri kohale, kasti põhjaks on lintkonveier, mis viib materjal üle tagaserva laoturi punkrisse (In2EastAfrica, 2011).

Tolmjaid lubiväetisi laaditakse üldiselt üheetapilisele paakveoki pneumosüsteemi abil, nii on väetis enne laotamist ilmastikumõjude eest kaitstud (Montex, 2012).

Kaheetapilisel laadimisel kasutatakse ühe variandina teisaldatavat vastuvõtupunktri ja tõstekonveieriga laadurit. Sel juhul sõidab laotur laaduri tõstekonveieri ülemise otsa alla. Veokist laaditakse lubiväetised kas kasti kallutades või põhjakonveieri abil laaduri vastuvõtupunkrisse, millest tõstekonveier viib meliorandi laoturi mahutisse (joonis 7.2).

Teise variandi korral laaditakse lubiväetis põllul olevast hunnikust laoturi kasti liht- või greiferkopaga laaduriga. Selleks sobivad rataslaadurid, traktori esilaadurid või ekskavaatorid (BISZ, 2012).

Laadur võib olla ka monteeritud laoturi tiislile. Kui laadur on monteeritud laoturile või laoturit vedavale traktorile, on tehnoloogilised ooteajad väiksemad võrreldes variandiga, kus kasutatakse eraldi laadurit. Kuna viimasel juhul peab laadur ootama laoturi järel ja vastupidi, siis see tingib ebaotstarbekaid tööjookulusid. Sellele lisandub laaduri sõidukulu põllule ja tagasi.

Kui võrrelda variante, kus laadur on monteeritud laoturile või laoturit vedavale traktorile, siis viimasel juhul tuleb enne igat laadimist laotur traktori tagant lahti haakida ja pärast laadimist tagasi külge haakida. See tingib täiendava ajakulu. Samas on traktoril olev esilaadur mitmekülgsemalt kasutatav kui laoturil olev laadimisseade.



Joonis 7.2. Teisaldatav vastuvõtupunktri ja tõstekonveieriga laadur, ajamiks on diiselmootor (Doyle, 2012a)

7.4.6 LAOTAMINE JA MULDA VIIMINE

Tolmjate lubiväetiste laoturid jagunevad:

- laotamisviisi järgi pneumolaoturid ja puistelaoturid;
- laotamisseadme järgi ketasseadmega, torupoomseadmega ja düüsseadmega;
- etteandeviisi järgi mehaanilise ja pneumaatilise etteandega;
- mehaanilised etteande tüübi järgi tigu- ja lintkonveieriga;
- mahuti järgi paak-, kast- ja punkermahutiga (vt ka 4.3.5.2);
- haakeviisi järgi ripp-, poolhaagis-, haake- ja liikurlaoturid;
- laotamisseadme paiknemise järgi mahuti ees, all ja taga oleva laotamisseadmega.

Tolmjate lubiväetiste laotamiseks on sobivamad pneumolaoturid, millel on pneumaatiline etteanne ja laotamisseadmeks on düüs; või punkerlaoturid, millel etteanne on konveieri(te)ga ja laotamisseadmeks torupoom.

Lubiväetiste pneumolaotur (joonis 7.3) on kujundatud ühe- või kaheteljelise sadulhaagisena. Masina koostisosad on raam, veermik, paak, pneumosüsteem, kontrollseadmed, sulgur ja laotamisseade.

Paak toetub esiotsaga sadulseadme abil traktori tagasilale ja tagumise otsaga ühe- või kaheteljelisele veermikule. Paagi tagaots on esiotsast madalamal. Paakide mahutavus on vahemikus 8–20 t tolmväetist. Paagi peal on hermeetiliselt suletav täiteava, paagi allosas paikneb sulguriga väljastamistoru ja põhjas aeropõhi. Laoturil on tugijalad, millele toetatakse masina esiots, kui see haagitakse traktori tagant ära.

Pneumosüsteem koosneb kompressorist, kolmeastmelisest õhupuhastist, niiskuse- ja õlipüüdurist, suru- ja imitorudest ning laadimisvoolikutest. Kompressor käitatakse traktori käitusvõllilt pöörlemissagedusega 1000 1/min. Süsteemis on ülevoolu-, tagasilöögi-, ja kaitseklapid. Pneumolaoturi laotamisseadmeks on düüs, millest lubiväetis õhusurvega välja paisatakse.



Joonis 7.3. Paakmahuti ja düüs-laotamisseadmega pneumolaotur tolmjate lubiväetiste laotamiseks (Tuhalaotus, 2012)

Puistelaoturites kasutatakse etteandeks kas tigu- või lintkonveierit. Lintkonveieri transpordielemendiks on lõputu kummilint (joonis 7.4). Konveier võib ajami saada hüdro-mootorilt, traktori käitusvõllilt või laoturi rattalt (joonis 7.7). Laoturi punkri põhjas olev lintkonveier veab väetise lehrtrite kohale, mille kaudu meliorant langeb torupoomis oleva tigukonveieri keskosale (joonis 7.5). Torupoomi alaküljel olevate avade kaudu puistatakse väetis põllu pinnale. Torupoom-laotamisseadmega puistelaoturid võimaldavad võrreldes pneumolaoturiga saavutada parema laotamisühtlikkuse, sest tigukonveier jaotab väetist ühtlaselt kogu poomi pikkuses (joonised 7.5 ja 7.6).



Joonis 7.4 Lintkonveier laoturi väetisepunkri põhjas (Hufgard, 2012)

Joonisel 7.5 oleva laoturi etteandeteole vajub väetis punkrist raskusjõu toimele. Punkri põhjas olev tigukonveieri pikendus on antud juhul ühtlasi ka torupoomis olevaks tigukonveieriks.

Lubiväetiste laotamiseks kasutatakse ka kastlaotureid (vt jaotis 2.3.6.1, joonis 2.16).



Joonis 7.5 Nõrgalt tolmja lubiväetise laotamine tigukonveieri ja torupoom-laotamisseadmega ripplaoturiga (Altec, 2012)

Tolmjate lubiväetiste laotamisel peaks tuuletriivi vähendamiseks poom olema varustatud tolmukardinatega, mis aitab vähendada väetise lendumist väljapoole väetatavat ala ja seega täiendavalt laoturi põikühtlikkust parandada (joonis 7.6). Vajadusel on võimalik tuulekardinad kokku rullida ja poomile kinnitada.



Joonis 7.6. Torupoom-laotamisseade on tolmjate lubiväetiste laotamisel varustatud tuulekardinatega (Bredal, 2012)

Nõrgalt tolmjate meliorantide laotamiseks kasutatakse ka ketaslaotureid (joonis 7.7). Lubiväetiste ketaslaotamisseadmed sarnanevad mineraalväetise-laoturite ketaslaotamisseadmetega. Väikese punkriga mineraalväetiselaotureid ei ole aga soovitatav kasutada lubiväetise laotamiseks, kuna lubiväetise hektarikogused on vähemalt 10 korda suuremad mineraalväetise hektarikogusest ja seega mahuti täitmisega seotud ajakulud on ebaotstarbekalt suured. Samas ei pruugi nõrgalt tolmjate lubiväetiste laotamiseks konstrueeritud ketaslaotamisseadmed olla sobivad granuleeritud mineraalväetiste laotamiseks. Nõrgalt tolmjaid meliorante laotatakse sageli granuleerimata kujul ja seega pole nii oluline, et laotamisseade säästaks laotatavat materjali. Oluline on piisav laotamisjõudlus ettenähtud töölauses. Siiski on mõnedel lubiväetiselaoturitel võimalik lubiväetise laotamiseks kasutada ketasseade vahetada mineraalväetise laotamiseks sobiva väiksema jõudluse aga graanuleid säästvama ketasseadme vastu.



Joonis 7.7. Nõrgalt tolmja meliorandi laotamine punkri ja ketaslaotamisseadmega laoturiga (Monroeswcd, 2012)

Universaallaoturitel on nii ketaslaotamiseseade kui torupoom-laotamiseseade. Valides sobiva laotamiseseadme saab sellise laoturiga laotada nii tolmjaid lubiväetisi, nõrgalt tolmjaid lubiväetisi, kui ka tahkeid mineraalväetisi. Joonisel 2.15 on sama laotur, mis joonisel 7.6 - esimesel pildil on poom transpordiasendis ning näha on ketaslaotamiseseade, teisel pildil on ketaslaotamiseseade tööasendis oleva poomi varjus.

Niiske meliorandi laotamiseks on sobiv ketaslaotamiseseadmega ja tagakattega tahesõnnikulaotur (joonised 4.22), mida on võimalik kasutada ka nõrgalt tolmja meliorandi, näiteks puutuha laotamiseks.

Enamikul lubiväetiselaoturitel paikneb laotamiseseade lubiväetise mahuti taga, mõnel juhul on see asetatud ka mahuti alla (joonis 7.5) või ette (joonis 7.8). Mida lähemal asub laotamiseseade agregaadid keskpunktile, seda lühem on töökäigu lõpus ja alguses ülesõitute teepikkuste summa. Sellest tulenevalt on põllu otstel võimalik kasutada kitsamaid pöörderibasid võrreldes näiteks juhuga, kus kasutatakse mahuti taga asetseva laotamiseseadmega sama pikka agregaatid.



Joonis 7.8. Mahuti ees paikneva torupoom-laotamiseseadmega laotamisagregaat (Fortuna, 2012)

Enamasti laotatakse väetisi mööda maad liikuvatel agregaatidel. Kuid erinevates maailma piirkondades kasutatakse mõnel juhul ka õhusõidukeid.



Joonis 7.9. Helikopteri külge haagitud ketaslaoturi punkrisse lubiväetise laadimine kopp-purusti abil (LimePlus, 2012)

Näiteks Uus-Meremaal kasutatakse lubiväetiste laotamisel helikoptereid (LimePlus, 2012) (joonised 7.9 ja 7.10). Sel meetodil laotatakse melioranti peamiselt nõlvadel olevatele rohumaadele, kus maastlaotamiseks on keerukas, aga ka suure pindalaga kõlvikutele. Trossidega helikopteri küljes rippuva ketaslaoturi haardelaiuseks on 40 m. Parema laotamisühtlikkuse ja -täpsuse tagamiseks juhitakse helikopteri GPS-seadme abil. Laoturi tööd juhitakse väetamiskaardi alusel. Meetodi eeliseks on, et põldu ei tallata, maapinna ebatasasused ega kõlvikul olevad takistused (elektripostid jmt) ei piira töökiirust, töökaik on pikem võrreldes maastlaoturiga (kuna puudub vajadus pöörderibade järele) ja mõnel juhul lühemad veokaugused (pole vaja liikuda mööda käänulisi teid). Puuduseks on aga raskemini tagatav laotamisühtlikkus ja -täpsus, suurem nõudlikkus sobivate ilmastikutingimuste suhtes ja pikem pöördeaeg töökaikude vahel võrreldes maastlaotamisega. Andmed sellise lupjamistehnoloogia majanduslikkuse kohta puuduvad.



Joonis 7.10. Rohumaadele lubiväetise laotamine helikopteri rippüsteemile haagitud ketaslaoturiga (LimePlus, 2012)

Lubiväetiste laotusühtlikkust kontrollitakse sama meetodika järgi kui tahkete mineraalväetiste oma. Selle meetodika kirjeldus on esitatud jaotises 2.3.7.

8. HALJASVÄETISED

8.1 ÜLEVADE HALJASVÄETISTEST

Haljasväetis on põllukultuuride haljasmass, mis mullaviljakuse tõstmiseks kas kasvukohal või teiselt kasvukohalt (põllult) tooduna viiakse mulda. Haljasväetiste kasutamise eesmärk on mulla rikastamine orgaanilise aine ja taimede poolt omastatavate toiteelementidega. Lämmastik seotakse libliköieliste haljasväetiskultuuride mügarbakterite kaasabil atmosfäärist, mineraalsed taimetoitelemendid, sh ka P, K ja Ca, aga omastatakse sügavajureliste haljasväetiskultuuride tugeva juurekava poolt mulla alumistest horisontidest, kuhu mitmed põllukultuurid, nagu teraviljad, kartul jt., oma nõrga juurekavaga ei tungi, ja transporditakse sealt künnikihti (TTVK, 1996).

Haljasväetiskultuuridena kasvatatakse ristöielisi (raps, sinepid, õlirõigas), libliköielisi (lupiinid, vikk, mesikas, ristik), kõrrelisi (üheaastane raihein, timut) ja muid liike nagu päevalille ja keerispead (Wikipedia, Gründüngung). Lõuna-Ameerikas kasutatakse näiteks väga laialt algselt Euroopast pärinevat musta kaera (*Avena strigosa*) selle muldparandavate omaduste tõttu.

Soodsates tingimustes võivad libliköielised haljasväetiskultuurid anda 6–10 tonni kuivainet hektari kohta. Sellise kuivainekogusega viiakse mulda heades kasvuoludes kuni 300 kg/ha lämmastikku. (Lauringson ja Talgre, 2010).

Tabel 8.1. Põllukultuuride kasvatamisel muldajääv juure- ja taimejäänuste kogus (Lauringson jt, 2005)

Kultuur	Juure- ja taimejäänused, t/ha kuivaines
Lutsern, heinaseeme	5,5–6,5
Punane ristik	2,8–4,0
Mais	1,7–1,9
Kaunviljad teraks	1,4–2,0
Teraviljad, raps	1,4–1,8
Allakülvid, järelkultuurid	0,6–1,0
Rühvelkultuurid, köögivilid	0,6–1,0

Kuusikul keskmise viljakusega mullal aastatel 1996–1998 läbiviidud võrdluskatsete tulemused näitavad, et katteviljata külvatud valge mesika ja punase ristiku haljasmassiga jääb külviaastal mulda lämmastikku keskmiselt järgnevalt: valge mesikaga 247,5 kg/ha ja punase ristikuga 160 kg/ha (Viil ja Vösa, 2005).

Mulda viidava orgaanilise aine arvel paraneb mulla toiterežiim, struktuursus, füüsikalised ja hüdrofüüsikalised omadused. Libliköielised kultuurid suurendavad liivmulda-

de sidusust ja vähendavad sidusust savidel. Rohke orgaanilise aine sisaldus mullas mõjub soodsalt mulla elustikule ja mulla bioloogilisele aktiivsusele (Lauringson jt, 2005).

8.2 KÄITLUSTEHNOLOOGIAD

Haljasväetiste käitlustehnoloogiad ja masinad erinevad oluliselt ülejäänud väetiselüükide omadest. Haljasväetisega seotud tehnoloogiad hõlmavad muuhulgas väetise tootmisega (kasvatamisega) seotud operatsioone, st külveelset muldharimist, haljasväetiskultuuri külvi ja taimiku väetiseks töötlemist.

Haljasväetiskultuuride kasvatamis- ja kasutamiskiisid on järgmised (Viil, 2003; Lauringson ja Talgre, 2010):

- iseseisva põllukultuurina - ühe- või kaheaastased libliköielised kultuurid; külvatatakse kevadel, vegetatsiooniperioodil kasvavad põllul ja sügisel viiakse taliviljade külvi eelselt mulda;
- vahekultuurina - pärast varase saagi koristust külvatatakse kiirekasvulisi kultuure (nt valge sinep, õlirõigas, rukis, üheaastane raihein, hernes, talirüps), mis viiakse mulda sügisel või järgmisel kevadel;
- külv kattevilja alla - mitmeaastased aeglase kasvuga libliköielised kultuurid külvatatakse kattevilja alla; nende kasv jätkub pärast kattevilja koristamist ja järgmise aasta suve lõpul või hilissügisel viiakse mulda;
- ädal-haljasväetis - esimene saak koristatakse suvel loomasöödaks või silo tegemiseks ja ädal viiakse sügisel mulda;
- niite-haljasväetis - haljasväetiskultuure kasvatatakse väljaspool külvikorda; haljasmass niidetakse ja veetakse väetatavale põllule, kus see mulda viiakse.

Haljasväetiskultuuri rajamine

Sõltuvalt aktiivkihi tusedusest küntakse põlde tavaliselt 20–25 cm sügavuselt. Kündmise võib asendada ka pindmise (10–15 cm sügavuse) harimisega. Selleks sobivad põimagraadid, mis koosnevad põhukammist, mulda töötlevatest seadistest (kettad, kobestuskäpad jt.) ja tihendusrullidest. Nende agregaatide eeliseks võrreldes adraga on suurem tootlikkus ja põllulejäänud orgaanilise aine (põhk, aganad) hea segamine mullaga. Peale selle tihendavad nad mulda ja provotseerivad selliselt umbrohuseemneid tärkama. Ökoonoomsemaks tehnoloogiaks on kattevilja ja allakülvide tegemine eelnevalt harimata mulda otsekülviga. Senised uurimused on näidanud sellise tehnoloogia sobivust kerge ja keskmise löimisega muldadel.

Libliköieliste haljasväetiskultuuride seemnete kõige sobilikum külviaeg on varakevad. Soovitav on valge mesika

ja punase ristiku seemned külvata katteviljaga üheaegselt. Kuid seda võib teha ka kattevilja tärkamisel või hiljemalt 2–3 lehe faasis. Valge mesika kasvatamisel on see isegi soovitatav. Oluline on ka kattevilja reavahe laius. Kattevilja negatiivne mõju allakülvile nõrgeneb kui teda külvata tavapärase 12,5 cm reavahe asemel 18 cm reavahega (Viil, 2003).

Osade liikide (näiteks mesika) kõvakeсталised seemned vajavad enne külvi skarifitseerimist ehk seemnekesta vigastamist, et see muutuks vett ja gaase läbilaskvaks. Kui liblikõielise liiki kasvatatakse põllul esmakordselt, siis tuleb seemneid enne külvi segada taimeliigile vastava mügarbakteri preparaadiga, et soodustada lämmastiku sidumist õhust (Deaker jt, 2004).

Ristikuga seemendatakse põldu kohe pärast otra, viimase külvisuunaga risti või vastassuunas liikudes. Külvikuga, millel on peenseemnete kast, saab teha samaaegset põhi- ja haljasväetiskultuuri külvi. Viimase seemned langevad külvi tihendusrataste või rullide ette ja need suruvad seemned mulda. Sõltuvalt kasvutingimustest on oht, et allakülv kasvab põhikultuurist üle ja koristamine on raskendatud.

Kui kattevilja ja haljasväetiskultuur külvatakse eraldi (joonis 8.1), tuleks enne liblikõieliste haljasväetiskultuuride seemnete külvi mulda kindlasti rulliga tihendada. Kui külvielset haritakse mulda madalalt (1–3 cm sügavuselt), siis võib piirduda ainult allakülvijärgse rullimisega. Kattevilja ja haljasväetiskultuuride seemnete üheaegsel külvamisel põimkülvikuga ei ole täiendav rullimine otstarbekas. Rullimine ei ole vajalik ka otsekülvitehnoloogia korral (Viil, 2003).



Joonis 8.1. Ristikut saab allakülvata taliteravilja kevadisel äestamisel ökoakkele paigaldatud külviseadmega (Einböck, 2013)

Taimiku töötlemine haljasväetiseks

Haljasväetiskultuuri taimiku elutegevuse lõpetamiseks kasutatakse selle pritsimist üldhävitavate herbitsiididega, maharullimist, purustamist-hekseldamist või juurestiku läbilõikamist. Seejärel põld küntakse või segatakse taimjäänused mulda randaaliga. Otsekülvi korral jäävad taime-

jäänused maapinnale. Osadele liikidele mõjuvad ka Eesti külmad talved letaalselt.

Järgnevalt kirjeldame haljasväetiste mehhaanilise töötlemise meetodeid.

Pikakõrrelised kultuurid on vaja maha rullida (SQI, 2002). Selleks sobivad ribirullid. Nende silinderpinnale on servapidi keevitatud kas

- 1) rulli teljega paralleelsed sirged metallribad, millele on toeks kaldu keevitatud teine metallriba (joonis 8.2) või
- 2) V-kujulised metallribad (joonis 8.3), mis tuge ei vaja.

Ribide servad ei tohiks taimikust läbi lõikuda, vaid peavad selle lõmastama. Kui ribide servad on nii teravad, et tungivad mulda, siis sellega ärgitatakse umbrohuseemned idanema (Derpsch, 2012). Rullide eeliseks võrreldes niidukitega on väiksem hooldusvajadus ja veojõutarve.

Joonisel 8.2 olev rull on valmistatud lehtterasest ja seda on võimalik täita veega. Näiteks 200x70 cm mõõtmetega rulli mass on tühjalt 400 kg, aga veega täidetult 800 kg. Rullid on kinnitatud raamile, mida saab hüdrauliliselt tõsta ja langetada.



Joonis 8.2. Sirgete ribidega rull haljasväetiskultuuri taimiku maharullimiseks (Derpsch, 2012)



Joonis 8.3. V-kujuliste ribidega rull taimiku maharullimiseks (Brust, 2011)



Joonis 8.4. Maharullitud haljasmassi sisseküünd (Viil ja Vösa, 2005)

Rullimisele järgnev küünd (joonis 8.4) tuleb teha rullimisega samas suunas, et taimejäänused ei ummistaks atra ja saaksid täielikult mulla alla maetud. Süstikkünnil eeldab see, et adra ja rulli töökäigud täpselt kattuksid nii suuna kui laiuse mõttes ja seda ka pöördribadel. Seetõttu on rullimise ja sellele järgneva künniga tehnoloogia mõnevõrra paremini rakendatav tavaadra kasutamisel, kuna siis töödeldakse põldu eede kaupa ja künni töökäik ei pea olema täpselt sama lai rulli töölaieuga. Rullimisel aga jälgitakse kavandatavat põllujaotust kokku- ja lahkukünnieedeks. Rullimise eeliseks võrreldes niitmisega on oluliselt väiksem energiatarve. Lisaks lagunevad taimejäänused aeglasemalt, mistõttu järgneval kultuuril on pikema aja vältel võimalik vabanevaid toitaineid tarbida.

Niitmist kasutatakse kõrge taimiku korral, kus trummelniidukiga (joonis 8.5) haljasmass niidetakse ja samaaegselt hekseldatakse piisavalt väikesteks osadeks, et vähendada ummistumisi ja parandada töö kvaliteeti järgneval mullaharimisel.

Soovitatakse ka teha kasvuaegset niitmist. Näiteks mesikas kasvatab teisel kasvuaastal suure haljasmassi ja seetõttu on katsetes õitsemise algul (juuni algul) mesika haljasmass maha niidetud ja lastud kasvada uus mass. Selle võttega saab suurendada haljasmassi kogust ja nihutada künniaega hilisemaks. Vältida tuleks haljasväetiskultuuri varte puitumist ja seemnete valmimist (Loide, 2010).



Joonis 8.5. Haljasmassi niitmine trummelniidukiga (INO, 2012)

Viljavahelduse optimeerimiseks võib liblikõieliste haljasmassi sügisel vedada selle kasvukohalt teistele kõlvikutele niite-haljaväetisena (Viil, 2003).

Haljasmassi otsekoristus selle kasutamiseks teistel põldudel on ühendatud niitmine ja hekseldamine silokombaini (joonis 8.6) või haakehekseldiga.

Teiseks võimaluseks on lahuskoristus - haljasmassi niitmine niidukiga vaalu ja seejärel vaalust kogumine ning hekseldamine liikurhekseldi (joonis 8.7) või haakehekseldiga (joonis 8.8) tahesõnnikulaoturile, veoautole või viljaveokärule. Vaalust kogumiseks on võimalik kasutada ka kogurkäru (joonis 8.9).

Kui hekseldatud haljasmass tahetakse laotada põllule kohe, siis tuleks haljasmass hekseldada otse tahesõnnikulaoturile, mis veab ja laotab haljasväetise teisele põllule. Selle meetodi eeliseks on, et tehnoloogilises ketis ei ole vaja teha täiendavaid laadimisi. Puuduseks on aga, et hekseldi peab ootama sõnnikulaoturi järel, kuni see käib teisel põllul või siis peab ettevõttes olema piisavalt palju laotureid, et hekseldi saaks pidevalt töötada.

Ka veoauto või viljaveokäru kasutamisel haljasmassi veoks peab olema piisavalt palju veokeid, et koristus toimuks ilma ooteaegadeta. Arvestada tuleb ka, et kuna väetataval põllul tuleb kallutada haljasmass auna, siis lisandub täiendav töö - haljasväetise laadimine laoturile. Eeliseks on, et teraviljakasvataval on sellised viljaveokärad olemas ja võrreldes eelmise variandiga kulub nendega vedamisel laoturi tööajast väiksem osa väetise transpordile.



Joonis 8.6. Haljasmassi otsekoristus silokombainiga (Zürn, 2013)

Kogurkäru kasutamisel kogutakse haljasmass kasvukohal vaaludest ja väljutatakse auna põllule, kuhu väetis laotatakse. Aunast laaditakse haljasmass tahesõnnikulaoturile. Kogurkäru eeliseks on see, et niiduk saab töötada pausideta.

Teisel põllul tuleks laotatud haljasmass lämmastikudade vähendamiseks kiiresti mulda viia. Enne kündi on soovitatav taimejäänuste kiht segada kergrandaaliga mulda (Weller, 2011).



Joonis 8.7. Liikurhekseldiga haljasmassi vaalust kogumine ja haagisele hekseldamine (Vettik, R.)



Joonis 8.8. Haakehekseldiga haljasmassi vaalust kogumine ja haagisele hekseldamine (Vettik, R.)



Joonis 8.9. Haljasmassi vaalust kogumine kogurkäruga (Vettik, R.)

Juurestiku läbilõikamiseks kasutatakse rõhtlõikurite või lõikehanijalgadega varustatud käppkultivaatoreid. Lõikekäppadele järgnev rull surub taimiku vastu maad. USA-s on uuritud, kui suur osa haljasväetiskultuuri taimikust sureb erinevate tehnoloogiliste võtete korral – trummelniidukiga niitmise, ribirulliga rullimise ja rõhtlõikuriga juurestiku läbilõikamise järel. Juurestik lõigati läbi 5 cm sügavuselt ühepoolsete rõhtlõikuritega, järgnes taimiku maharullimine. Tulemused sõltusid kultuuri liigist ja kasvufaasist. Kümne liigi keskmisena oli taimiku suremus kolm nädalat pärast töötlemist vastavalt eeltoodud järjestusele 65, 40 ja 90% (Creamer ja Baldwin, 1999). Juurte läbilõikamine hävitab ka umbrohtusid efektiivsemalt kui niitmine (Brust, 2011). Eesti kohta vastavaid andmeid ei ole teada.

8.3 AGROTEHNILISED TAHUD

Haljasväetiskultuuri niitmise aeg

Kuna haljasväetiskultuuri kasvatamise üheks eesmärgiks on võimalikult suure lämmastikukoguse sidumine, siis sellest sõltub nende niitmiseks sobivaim aeg. Liblikõieliste taimede N sidumine on maksimumis nende õitsemise ajal ning hakkab vähenema koos seemnete moodustumisega. Liiga hilises faasis või liiga lühikeseks niitmine nõrgestab taimikut.

Parema ädalakasvu seisukohalt on soovitatav suvivikk niita hiljemalt õitsemise algul ja ristikud silotegemiseks soovitatavatel aegadel. Hea ädalakasvu saamiseks soovitatakse kaer niita loomise faasis ja hernes õitsemise algul. Kuigi niidetud taimikus toimub lämmastiku vähenemine, suurendab niitmine üldiselt haljaskultuuri N kogusaaki (Hannolainen, 2005).

Muldaviimise aeg ja viis

Mitmetes uuringutes on leitud, et haljasväetise liik ja muldaviimise aeg mõjutavad lämmastiku väljaleostumist mullast. Seaduspärasusena on leitud, et mida varem on suvel haljasväetis mulda küntud, seda suurem on sügisel mineraallämmastiku sisaldus mullas ning suurem ka risk nitraatide mullast väljaleostumiseks. Skandinaaviamaades läbiviidud uuringute alusel on kevadküнд või muu kevadine mullaharimine sügisese võrreldes vähendanud lämmastiku mullast väljauhtumise riski.

Minimeeritud harimine vähendab tavalise künniga võrreldes lämmastiku mullast väljaleostumist põhjusel, et mulda õhuvahetuse halvenemise tulemusena väheneb orgaanilise aine mineralisatsioon.

Inglismaal läbiviidud künni ja otsekülvi võrdluskatsetes suurendas küнд otsekülviga võrreldes 21% võrra lämmastiku väljauhtumist, kusjuures nelja vegetatsiooniperioodi jooksul oli küntud mullast aastane keskmine N leostumiskadu 39 kg/ha.

Suvised viljadele eelkultuurina kasvatamisel on lämmastikukadude vähendamiseks otstarbekas haljasväetiskultuur mulda viia hilja sügisel. N kadude risk on seda suurem, mida kõrgem on haljasväetise N sisaldus (Hannolainen, 2005).

Muldaviimise sügavus

Kuusiku uuriti 1996–1998 rähksel liivsavimullal läbiviidud katsetes ristiku ja valge mesika muldakünni sügavuse ja -aja mõju erinevate suviteraviljade (oder, kaer, nisu) saagile ja kvaliteedile (Viil, 1999). Selgus, et haljasväetiste hilissügisese muldakünni sügavus ei mõjutanud oluliselt järgnevalt kasvatatud teraviljade saaki. Varasügisel (septembri lõpul) tehtud sissekünnil oli efektiivseim sügavküнд.

9. BAKTERVÄÄTISED

9.1 ÜLEVAADE BAKTERVÄÄTISTEST

Baktervääetised on kaudsed vääetised, mis ise ei ole otseselt ühegi taimetoiteelemendi allikaks, kuid mis neis sisalduvate kasulike bakterite toimel parandavad taimede toitumistingimusi. Sõltuvalt baktervääetise liigist paraneb nende kasutamisel taimede varustatus lämmastiku, fosfori või mõne teise toituelemendiga. Mõned baktervääetistes olevad mikroorganismid on võimelised sünteesima taimedele vajalikke bioaktiivseid ained nagu auksiine, vitamiine, gibberelliine jt (TTVK, 1996).

Nõuetes vääetiste koostisele (Nõuded vääetise..., 2012) on nimetatud järgmised baktervääetiste liigid: nitragiinid, risotorfiinid, perliinid, asotobakteriin, fosforbakteriin ja teised mullabakterite baasil toodetavad baktervääetised. Need on kunstlikult paljundatud looduslike mikroorganismide preparaadid, mille kasutamise tulemusena tekib mullas bioloogiliselt aktiivseid ühendeid, paraneb mullas olevate toituelementide omastatavus, paraneb taimede vastupanuvõime haigustele ja ebasoodsatele ilmastikutingimustele ning seotakse õhulämmastikku. Baktervääetised ei tohi sisaldada haigusi tekitavaid ega teisi ohtlikke mikroorganisme. Ülevaade baktervääetiste liikidest on toodud tabelis 9.1.

Tabel 9.1. Baktervääetiste liigid, mis on esitatud nõuetes vääetiste koostisele (Nõuded vääetise..., 2012)

Nimetus	Toime	Kanduraine
Nitragiinid	Sümbioosis liblikõielistega seovad õhulämmastikku.	Muld
Risotorfiinid	Sümbioosis liblikõielistega seovad õhulämmastikku.	Turvas
Perliinid	Sümbioosis liblikõielistega seovad õhulämmastikku.	Perliit
Asotobakteriin	Kasutamise tulemusena seotakse mullas õhulämmastikku ja tekivad bioaktiivsed ühendid.	Muld või agar-agar
Fosforbakteriin	Kasutamise tulemusena muutuavad mullas raskesti lahustuvad fosforühendid taimedele kergesti omastatavaks, tekivad bioaktiivsed ühendid.	Tahke või vedel preparaat

Mügarbakteriinid. Põllumullad sisaldavad suuremal või vähemal määral mitmesuguseid liblikõielistega sümbioosis õhulämmastikku siduvaid mügarbaktereid. Seejuures on nende bakterite toime rangelt spetsiifiline. Liblikõieliste taimede igale liigile või liikide grupile on omane teatud kindel mügarbakterite liik, mis on võimeline elama vastava pere-meestaime juures ja varustama pere-meestaime lämmastikuga

(joonis 9.1). Liblikõielisele baktervääetise valikul tuleb kindlasti jälgida, et see sobiks konkreetse liblikõielisega, muidu ei ole preparaadi kasutamisest kasu.

Kui liblikõielisega seemendatavas mullas on vastava liigi mügarbaktereid ebapiisavalt, siis seotakse õhulämmastikku vähe ja pere-meestaime kannatab lämmastikupuuduse all. Seetõttu tuleb mügarbaktereid mulda juurde viia või liblikõielise külvist idutada (inokuleerida) vastava bakterkultuuriga. Kuna viimasel juhul on baktervääetise kulu väiksem, siis enamasti seda varianti kasutataksegi (TTVK, 1996).

Taimede nakatamiseks kasutatavaid elusaid mügarbaktereid sisaldavaid preparaate nimetatakse üldiselt mügarbakteriinideks. Nende täpsem nimetus sõltub kandurainest, millega bakterkultuur on segatud. Mullaga segatud preparaate nimetatakse nitragiinideks ja turbaga segatud risotorfiinideks. Kuna nii mulla- kui turbapreparaatidel on bioloogilisi puudusi, siis nüüdisajal on kandurainena kasutusele võetud peenestatud mineraal perliit, millest ka preparaadi liigi nimetus - perliinid.

Eestis kasutatakse mügarbakteriine järgmiste liblikõieliste seemnete inokuleerimiseks: ristik, mesikas, lutsern, gaalega, lupiin, hernes, vikk, lääts, põlduba ja aeduba (TTVK, 1996). Praegu toimuvad uuringud sojaoa kasvatamiseks Eestis – ka sellel liigil on saagikuse suurendamiseks oluline liigiomase bakterpreparaadi kasutamine (Raudseping, 2007).



Joonis 9.1. Mügarbakterite elutegevuse tulemusel moodustunud juuremügarad valgel ristikul (NSW, 2005). © State of New South Wales through Department of Trade and Investment, Regional Infrastructure and Services.

Mügarbakterid eelistavad neutraalseid hästi kultuuristatud keskmise löimise õhurikkaid muldi. Väheviljakatel muldadel on nende toime nõrk (TTVK, 1996).

Asotobakteriin on vabalt mullas elava asotobakteri mullal või agarkandurainel valmistatud bakteripreparaat. Need bakterid on lubjalembesed, mis tegutsevad aktiivsemalt ja seovad õhulämmastikku hästi õhustatud neutraalsetes muldades. Oluline on mulla küllaldane fosforisisaldus. Preparaati võib kasutada kõikide taimeliikide lämmastiktootumise parandamiseks (TTVK, 1996).

Fosforbakteriin on orgaanilisi fosforiühendeid lagundava mikroorganismi kultuur, mida valmistatakse tahke või vedela preparaadina. Paremaid tulemusi annab ta neutraalsetel rohkesti orgaanilisi fosforiühendeid sisaldavatel muldadel (TTVK, 1996).

9.2 KÄITLUSOPERATSIOONID

9.2.1 HOIUSTAMINE

Võrreldes muude väetistega on bakterväetiste kogused hektari kohta väikesed. Näiteks punase ja valge ristiku seemnete inokuleerimiseks kulub tonni kohta vastavalt 9 ja 17 kg nitragiini (Novozymes, 2011). Ristikute külvisenorm on sõltuvalt liigist ja viljeluseesmärgist vahemikus 2–12 kg/ha (Taimekasvatus, 1964). Näiteks punase ristiku puhaskülvil normiga 12 kg/ha piisab 10,8 kilogrammist nitragiinist, et töödelda külvisse kogus, millega saab seemendada 100 ha. Preparaadi kulunorm on seega 108 g/ha.

Bakterväetised sisaldavad elusaid baktereid, mis elutsevad orgaanilisel kandjal, näiteks turbal. Väetiseportsjonis olevate elusate bakterite arv väheneb aja jooksul, isegi õigetes hoiustamistingimustes. Bakterväetiste tootjad märgivad pakenditele preparaate aegumistähta, millest hiljem on väetise kasutamine ebaefektiivne.

Liiga kõrge temperatuur ja ultraviolettkiirgus hävitavad väetistes olevad bakterid. Seetõttu soovitatakse bakteripreparaate hoida jahedas (+10 °C) ja pimedas ruumis (TTVK, 1996). Hästi sobib selleks külmik, kus saab reguleerida temperatuuri preparaadi säilitamiseks sobivaimaks. Oluline on ka õige niiskusežiim, kuna üldiselt on bakterikultuuridele liigne kuivus ohtlik. Kui preparaadid on kuivatatud-külmutatud kujul, siis vaakum- või lämmastikukeskkonnas säilivad need paremini kui hapniku juurdepääsu korral (Deaker jt, 2004). Ka inokuleeritud külviseid hoitakse bakterikultuuridele sobivates tingimustes.

Soovitav on osta ainult sellised kogused bakterväetisi või inokuleeritud seemneid, mis on vajalikud ühe külvi perioodi vältel. Ettevõttes töötlemisel tuleks vältida seemnete inokuleerimist mitmeks päevaks ette. Enamasti on kulunorm töödeldava seemne- või külviridade koguse kohta on märgitud preparaadi pakendil (Erker ja Brick, 2012).

Üldiselt ei ole bakterväetised toksilised ei inimestele, loomadele, mullaelustikule ega teistele taimedele (GrowOrganic, 2009). Kindlasti tuleb järgida bakteripreparaatidega

kaasas olevaid tootjajuhendeid, kus on ära toodud nõuded ja soovitused, et tagada preparaate ohutu ja efektiivne kasutamine.

9.2.2 INOKULEERIMINE

Bakterväetised viiakse mulda kas otse või koos inokuleeritud seemnetega. Külvis inokuleeritakse ettevõttes vahetult enne külvi või seemnemüüja poolt maksimaalselt nädal aega enne ettevõttesse tarnimist. Viimasel juhul peavad seemnete hoiutingimused tagama bakteri eluspüsivuse. Esimese variandi eeliseks on, et bakterikultuurid jõuavad suurema tõenäosusega mulda elusana.

Seemne inokuleerimist liigitatakse katmismeetodi järgi (Deaker jt, 2004):

- kuivinokuleerimine;
- märginokuleerimine;
- dražeerimine;
- vaakumimpregneerimine.

Kuivinokuleerimisel segatakse bakterväetised kuivade seemnetega. See on küllaltki ebatõhus meetod, kuna preparaate nakkuvus seemnetega on nõrk ja külvi läbimisel enamuse preparaate eraldub seemnete küljest (Deaker jt, 2004).

Märginokuleerimisel seemne niisutatakse ja segatakse seejärel turbal baseeruvate bakteripreparaatidega. Seemnete niisutusvedelikku on sageli lisatud ka kleepainet. Kleepainena kasutatakse näiteks melassi või siirupit – 1 osa kleepainet ja 10 osa vett. Soovitatakse ka metüültselluloosi või kummiaraabika lahust (Deaker jt, 2004). Ka märginokuleerimisel on oht, et külvikus liigselt kuivades bakteripreparaadid eralduvad seemnetelt ja vajuvad kasti põhja, eriti juhul, kui märgamiseks on kasutatud vett ilma kleepaineta. Kleepaine aitab turbal paremini seemnekestale kinnituda ja külvi ummistumist vähendada. Kuna külvamiseks peavad seemned olema nii palju tahenenud, et need külvikus normaalselt voolaksid, siis kleepaine aitab seemnekestas hoida bakteritele vajalikku niiskust. Märginokuleerimisel on bakteripreparaate tarve oluliselt väiksem võrreldes kuivinokuleerimisega – näiteks punasel ristikul 2 ja sojaoal 5 korda väiksem. Kleepainega märginokuleeritud seemnetel peavad bakterid kauem vastu, kui kuivinokuleeritud seemnetel (Erdman, 1967).

Dražeerimisel kaetakse eelnevalt märginokuleeritud seemned lubjakivi- või fosforiiditolmuga. Tolm aitab ka vähendada seemnete pinda ja vähendada nende kleepuvust. Kaltsiumkarbonaat aitab bakteritel ellu jääda happelises mullas või happeliste väetiste kasutamisel. Parim on, kui seemnete katte happesus oleks võimalikult neutraalne – pH 7. Dražeeritud seemnetel on paremad ballistilised omadused, mis on oluline hajuskülvil. Samuti näitavad uurimused, et bakterite hukkumus on dražeeritud seemnete külvielisel säilitamisel oluliselt väiksem (Deaker jt, 2004).



Joonis 9.2. Maaristiku (*Trifolium subterraneum* L) seemned enne ja pärast lubjakivitolmuga dražeerimist (NSW, 2005.) © State of New South Wales through Department of Trade and Investment, Regional Infrastructure and Services

Vaakuimpregneerimisel tekitatakse hermeetilises kambri seemnekesta poorides alarõhk, seemned segatakse bakterpreparaadiga ja seejärel surutakse ülerõhu abil bakterpreparaat seemnekesta pooridesse. See meetod on vähelevinud.

Seemnete töötlemiseks puistatakse väetis seemnetele ja segatakse hästi läbi. Segatakse sageli segumasinas, selle puudumisel koormakattel või mõnes piisavalt suures anumast. Kahel viimasel juhul tuleb seemneid ja bakterpreparaate käsitsi kühvli abil segada, mis suurte koguste puhul on aeganõudev ja tulemus ei pruugi nii ühtlane olla kui segumasinaga segades. Kõik töövahendid, millega bakterpreparaadid kokku puutuvad, peavad olema puhtad, et vähendada bakterite hukkamise ohtu mõne antiseptilise aine tõttu. Märginokuleerimisel kasutatav vesi ei tohiks sisaldada kloori (FiBL, 2013). Segamiskoht peab olema varjus, et kaitsta baktereid otsese päikesekiirguse eest. Töötlemiseks sobib kõige paremini hommik, kuna siis on veel jahe. Segumasinast on soovitatav labad välja võtta, et seemneid liigselt mitte lõhkuda. Samas, kõvaseemnelistel liikidel aitavad seemnekatte väikesed vigastused idanemisühtlust parandada.

Metüülselluloosi (tapeediliimi peamine koostisaine, toiduainetööstuses tuntud kui E461) kleepainena kasutamisel tehakse 0,5%-ne liimilahus. Selleks lahustatakse 5 g metüülselluloosi 200 ml-s kuumas vees (80 °C). Seejärel lisatakse 800 ml külma vett ja segatakse. Segul lastakse jahtuda. Liim segatakse 250 g risotorfiiniga (vt tabel 9.1) ühtlaseks massiks. Saadud segu valatakse segumasina trumli olevatele seemnetele ja segatakse omakorda. Nimetatud kogustest piisab 25 kg väikeseemneliste liblikõieliste nagu valge ristiku või lutserni seemnete töötlemiseks (NSW, 2005).

Kui seemneid tahetakse ka dražeerida, siis tuleb kasutada 1,5 %-st metüülselluloosi lahust. Eelnevas lõigus esitatud kirjelduse järgi inokuleeritud seemnetele lisatakse segumasina trumliisse lubjakivitolmu ja segatakse 1–3 min. Ühe kilogrammi valge ristiku või lutserni seemnete dražeerimiseks kulub 200 g lubjakivitolmu. Kasutada ei tohi ehituslupja. Töödeldud seemneid tuleb kaitsta otseste päikesekiirte

eest. Nii dražeerimata kui dražeeritud seemned laotatakse vajadusel õhukese kihina varjulisse jahedasse küllaldase õhuhuhetusega kohta tahtenema (NSW, 2005).

Seemnete lubjakivitolmuga töötlemisel peavad tolmu kogus ja segamise kestus olema optimaalsed. Paksu jahuse ja pehme kattega dražeed on märk liigest tolmu kogusest või ebahühtlasest segamisest. Kui seemned on läikivad, siledad ja kõvad, siis see tuleneb liiga vähesest tolmust või liiga pikast segamisajast. Sobivaks katteks on õhuke ühtlane tolmukiht (Yates jt, 2010).

Mõningad pestitsiidid ja mineraalväetised küll ei kahjusta bakterväetisi, kuid paljud neist on siiski kahjustava toimega ja seetõttu on üldiselt soovitatav vältida preparaadi kontakti nende materjalidega nii külvi eel kui ajal. Ka külvik ei tohiks olla saastunud eelmise külvisel puhtimisel kasutatud fungitsiidi jääkidega (NSW, 2005).

Seemnete külvisenorm tuleb määrata kindlasti koos bakterväetisega, kuna viimane võib sõltuvalt inokuleerimisviisist ja seemnete omadustest oluliselt muuta külvisel voolukiirust aeglasemaks või kiiremaks, (Meripõld, 2005). Võrreldes töötlemata seemnetega, on dražeeritud seemned suuremad ja raskemad. Näiteks valge ristiku ja lutserni seemnete kaal suureneb dražeerimisega vastavalt 50 ja 30% (NSW, 2005).

Bakterväetiste efektiivsus sõltub suuresti mulla niiskusesisaldusest. Kuivas mullas bakterid kuivavad ja hukuvad. Inokuleeritud seemneid on soovitatav külvata vahetult enne või pärast vihma. Külvi ajal tuleb jälgida, et külvikust päikese käes liigselt ei soojeneks. Seemnetel olevad bakterid on liigse temperatuuri suhtes tundlikumad kui pakendis, kuna ärakuivamisohu on siis suurem. Üldiselt ei tohiks seemnete inokuleerimise ja külvi vahe olla üle 2–3 tunni. Sõltuvalt bakterväetisest tuleb üle teatud aja (mõnel on see aeg 24, teisel aga 48 tundi) seisnud inokuleeritud seemneid uuesti preparaadiga töödelda (FiBL, 2013).

Mulla inokuleerimist liigitatakse preparaadi olekuvormi järgi vedelikinokuleerimiseks ja graanulinokuleerimiseks.

Mulla inokuleerimisel jõuab mulda rohkem elujõulisi baktereid, kuid preparaadi kulu on hektari kohta suurem kui seemnete inokuleerimisel. Mulla preparaatidega töötlemisel väheneb oht, et bakterid hukuvad külvikus olevatel seemnetel või taime tärkamisel seemnekesta mullast välja kerkimise tõttu. Väikeste seemnete korral satub mulda seemnetega vähem bakterväetisi kui mulla otsesel töötlemisel vedelate preparaatidega. Samas on mügarbakterite otsese mulda viimise korral mügarate teke mõnevõrra hilisem, kuna bakterid ei ole kohe seemnetega kontaktis (Deaker jt, 2004).

Külviaegsel vedelikinokuleerimisel antakse mullale külviritta veega segatud või vedelaid bakterväetisi. Vedelate bakterväetiste külviaegne annustamine on võimalik külvikuga, millel on vedelväetisesüsteem (joonis 3.11).

Graanulinokuleerimisel külvatakse koos seemnetega

bakterväetiste graanuleid. Graanulid pannakse sel juhul kombikülvikku väetisekasti ja külvatakse väetise väljakülvisüsteemi kaudu. Graanulid võivad olla paigutatud nii seemnetega samasse ritta, selle alla kui kõrvale. Bakterväetise graanulite eraldi külvamine seemnetest mõnevõrra eemale võimaldab seemneid külvata koos pestitsiidide ja väetistega. Häid tulemusi on näiteks andnud savigraanulite laotamine herne ja lupiini põllule normiga 10 kg/ha (Deaker jt, 2004).

Katsetatud on ka rohumaade järelinokuleerimist kui inokuleeritud seemnete külvamine ei ole mingil põhjusel võimalik või seemnete inokuleerimise tulemus oli kasin (külvi järel oli näiteks 2–3 nädalat põuda, mille vältel enamus seemnetel olevaid baktereid hukkus kuivuse tõttu). Et bakterväetiste toime oleks efektiivne, peab nende norm võrreldes seemnetega külvatavaga olema siis küllaltki suur (NSW, 2005).

Vedelate preparaatide laotamiseks kasutatakse vihmussüsteemi või taimekaitsepritsi. Pritsiga antav kogus on 100 l väetiselahust hektari kohta. Üle 175 kPa rõhu korral bakterid hukuvad. Pritsimisel tuleb kasutada puhast vett, mille temperatuur on alla 30 °C. Pritsimisel tuleb silmas pida, et bakterid peavad valguma veega mulda, mitte jääma taimede maapealsetele osadele. Seega tuleks võimalusel kasutada lohisannusteid (vt jaotis 3.4.5.2).

Bakterväetiste graanulite laotamiseks järelinokuleerimise korras kasutatakse mineraalväetise laoturit (NSW, 2005).

Inokuleeritud seemneid võib laotada ka hajuskülvinaga, aga seemned tuleks segada kultivaatori või äkke abil võimalikult kiiresti mulla või multšiga, et bakterid ultraviolettkiirguses ei hukkukuks (GrowOrganic, 2009).

10. TÄPPISVILJELUS VÄETAMISTÖÖDEL

10.1 TÄPPISVILJELUSEST ÜLDISELT

Täppisviljelus (inglise *Precision Farming* saksa keeles *Teilspezifische Landwirtschaft*) on muutumas moesõnast üha igapäevasemaks tehnoloogiaks. Kuigi tihti rõhutatakse vaid seadmetele, on täppisviljelus enam, kui vaid asukoha määramise seadmetest ja reaajas seatavad täiturid. Väga oluline on tehnoloogia kasutaja oskuste, teadmiste ja kogemuste rakendamise viis. Kohalike olude tundmisel ei saa inimest veel tarkvaraga asendada. Seetõttu mõistame edaspidi *täppisviljeluse all taimekasvatuse tehnoloogiat, mis arvestades tingimuste muutlikkust põllu ulatuses rakendab eesmärkide saavutamiseks agronoomilisi, tehnilisi ja infotehnoloogilisi võtteid*.

Lühidalt on täppisviljeluse idee teha töid täpselt ettenähtud kohas ja viisil. Peamiseks erinevuseks nn. tavaviljelusest on põllu jagamine väiksemateks ühikuteks. Kui tavaviljeluses iseloomustati põllu seisundit keskmiste väärtustega ja põld jagati kogemuslikult ühte või mitmesse tsooni, siis täppisviljelus võimaldab vaadelda oluliselt väiksemat pinnaühikut. Selle pinnaühiku mõõtmed määrab ühelt poolt asukoha määramise seadmetiku täpsus ja teiselt poolt masina reguleerimislaius. Viimase all mõistetakse töölaia osa, mida saab häälestada eraldi. Tihti on viimane väetamismasinate puhul väiksem kui masina töölaius.

Täppisviljeluse korral võib eristada järgmisi tegevusi:

- asukohapõhine andmete kogumine andmebaasidesse;
- andmetes leiduvate probleemide põhjuste tuvastamine;
- analüüs ja tuvastatud probleemidele lahenduste välja töötamine;
- lahendustes määratletud tööde asukohapõhine sooritamine;

– tulemuste hindamine.

Täppisviljeluse oluliseks erinevuseks tavapärasest viljelusest on konkreetse asukoha ühene määramine satelliitidel põhineva kohtmäärangusüsteemi abil (Võsa, 2002). Asukoha määramiseks on tänapäeval küll olemas erinevaid tehnilisi võimalusi (näiteks GSM-positsioneerimine), kuid levinuim ja universaalseim on navigeri (DGPS-süsteemi vastuvõtuseade asukoha üheseks määramiseks) kasutamine. Kuigi väetamistööl piisab enamasti avalikust allikast (EGNOS, rannikumajakad) saadud andmete alusel korrigeeritud, süsteemi pakutavast 30 cm hälbest, on RTK-süsteemi kasutamine soovitatav, sest vaid nii jääb tekkiv hälve alla 10 cm. EGNOS on Euroopa alal töötav avalik süsteem satelliitdilt GPSvastuvõttureite täpsust parandava info edastamiseks. RTK-süsteemi (*Real Time Kinematic*) puhul toodetakse vajalik parandusinfo navigeri läheduses.

Andmete saamiseks on välja töötatud hulk erinevaid andureid, mis võimaldavad määrata inimese meeltele tajumatuid või raskelt tajutavaid parameetreid (taimiku tihedus või klorofüllisisaldus, mulla elektrijuhtivus jmt). Väetamisel on levinud taimiku seisundi hindamine kas selle massi või taimede klorofüllisisalduse alusel.

Kogutavate andmete tõhusamaks haldamiseks säilitatakse neid andmebaasides, millest vajalik teave saadakse päringutega. Teabe sisuline töötlemine ja sellele tuginev otsustamine on endiselt inimeste pärusmaa, sest põllul kehivaid seoseid ei ole lõplikult veel välja selgitatud ja seetõttu puuduvad algoritmid andmete paikapidavaks automatiseeritud töötlemiseks. Inimese analüüsivõime paindlikkuse ja kohanduvuse kasutamine on sellistes andmebaasides seoste leidmiseks endiselt tõhusaim andmetöötlusviis.

Kogutud andmetest on kasu ainult siis, kui neid kasu-

tatakse. Just siin ilmneb täppisviljeluse suurim eelis, mis võimaldab tehnoloogia arengut maksimaalselt ära kasutada. Seni põldu keskmiselt iseloomustavatele väärtustele tuginenud töötlemise asemel on võimalik töid teha antud põlluosale optimaalsel viisil. Tuleb märkida, et neid eelseid saab edukalt rakendada vaid siis, kui on selge antud töö eesmärk. Nagu ka tavaviljeluses, ei ole ainult tegemise pärast töö mõtet.

Täppisviljelus ei kõrvalda mitmete tegurite (sh. ilmastiku) mõju, kuid võimaldab tagajärgi leevendada. Seda peamiselt olemasoleva teabe alusel sobivaima töötlemisviisi ja -aja valikul ning tööle kuluva aja vähenemise tõttu. Andmebaasides olev teave võimaldab soovi korral mängida eelnevalt läbi mitmeid mooduseid, et leida igaks eeldatavaks juhaks sobivaim lahendus.

Täppisviljelus võimaldab täpsustada edasist tegutsemist ehk valida strateegiat. Praktikast on levinud neli eesmärki, mille vahel valida:

- saagi maksimeerimine kogu põllu ulatuses;
- kasumi maksimeerimine (sealjuures saak ei pruugi olla maksimaalne);
- maksimaalne saak minimaalse koormusega keskkonnale;
- minimaalsed kulutused teatud saagitaseme säilitamiseks.

Keskkonna säästmine on võimalik tänu väetiste täpsemale kasutamisele. Keskkonna seisukohast tundlikel aladel (veekogude lähedus, karstialad, põllu piirid) saab vähendada kasutatavat normi või jätta teatud osa põllust hoopis töötlemata. Lisaks on mõningane keskkonna koormuse vähenemine võimalik masinate automaatjuhtimise korral, kui suureneb juhtimistäpsus ja jäävad ära juhi ebakvaliteetsest tööst tekkivad korduvtöödeldud ja töötlemata alad. Tänu tootluse kasvule väheneb õhu saastamine mootori heitgaasidega ja säästetakse fossiilseid kütuseid. Teoreetilised arutlused lubavad kohtspetsiifilise töötlemise puhul vähenenud korduvtöödeldud aladelt oluliselt vähenevat fikseerimata toitainete väljauhtumist mullast. Kahjuks ei ole senini praktikast saadud viimasele väitele kinnitust. Uuringud näitavad aga, et asukohapõhisel väetamisel on toitainete jäägid mullas väiksemad, sest väetisi antakse vastavalt taime vajadustele.

Töökaartide või töömasinaseire alusel tekib võimalus väetiste (sh. ka sõnnik ja rooveed/mudad) kasutamise dokumenteerimiseks ning selle põhjal võimalike reostusallikate tuvastamiseks. Kõik need meetmed kokku võimaldavad oluliselt vähendada keskkonna koormust.

Oluline on täppisviljeluse korral mõista, et tegemist ei ole üksiku uudse tehnoloogilise võttega, vaid pigem arenguga põllumehe mõtlemises. Täppisviljeluse korral tehakse põllutöid varasemast tuntud tööseadistega. Aga töö tehakse õigel ajal, nõuetekohaselt ja sobivaimaid sisendeid kasutades. Just töö tegemise täpsus on see, mis täppisviljeluse ideed kõige paremini iseloomustab.

Üsna levinud on teine eesmärk – kasumi maksimeerimine. Sellel juhul vaadeldakse kogu tootmist kulutuste optimeerimise vaatepunktist. Oluline ei ole mitte suur saak ega kokkuhoid iga hinna eest, vaid analüüsile tuginedes otsitakse teid, kuidas toota efektiivselt.

10.2 TÄPPISVILJELUSE RAKENDAMISE EELDUSED

10.2.1 ETTEVÕTTEST TULENEVAD EELDUSED

Iga meetod on nii hea, kui hästi kasutaja seda valdab. Sestap on täppisviljeluse võimaluste realiseerumiseks vaja vähemalt kolme eeldust:

- tahtmine põlde täpsemalt majandada;
- vajalike seadmete olemasolu;
- oskus kogutud infot analüüsida.

Enne täppisviljeluse rakendamist on vaja selgitada ettevõtte põldude ühtlikkust ja olemasolevaid piiranguid. Kui põlde tuntakse üldiselt hästi ja seadmetega varustatus on piisav, siis täppisviljeluse edukaks rakendamiseks vajalikud analüütilised oskused (ja seda hõlbustav tarkvara) on alles arenemas.

Maailmas on levinud tava alustada täppisviljeluse rakendamist pealtväetamisega muutes väetamisaine laotamismnormi põllu piires. Sellele vajadusele viitavaid põhjuseid võib olla mitmeid:

- mullastiku ebaühtlus;
- piirangutsoonid (karstialad, vooluveekogude servaalad);
- taimestiku ebaühtlus vms.

Kui pealtväetamisega on võimalik ebaühtluse põhjuste mõju taimikule leevendada, on tulemuseks kõrgem ja parema kvaliteediga saak.

Otsuste tegemisel on määrav on andmekogu ulatus. Mida rohkem on andmeid põllu saagikuse kohta nii ajas kui ruumis, seda kindlamalt saab põldu tsoonideks jagada. Minimaalseks loetakse kolme viljavaheldusliku rotatsiooni saagiandmete olemasolu.

Kuigi navigeride täpsus võimaldab põldu jagada mõnede ruutmeetri pinnaga osadeks, on otstarbekas jaotada põld suuremateks tsoonideks saagikuse ja selle ajas püsivuse alusel ehk eristada:

- püsivalt kõrge ja püsivalt madala saagikusega alasid;
- ebapüsivalt käituvaid alasid.

Siinkohal ei tohi unustada agronoomilisi alustõdesid ega viljavahelduse nõudeid. Tehnoloogia võimaldab siin teatud mõõndusi teha, kuid ettevaatust tuleb säilitada.

Kui analüüsi tulemusena on selgeks saanud vajadus muutnormiga väetamiseks, tuleb valida strateegia ja seadmed ning teha väetamisplaanid.

10.2.2 SEADMED

Muutnormiga väetamiseks peab väeturi laotusnormi olema võimalik navigerilt saadava asukohainfo ja töökaardi alusel muuta. See omakorda eeldab arvutijuhtimist, millega enamus nüüdisaegseid masinaid varustatud ongi. Erinevate laotamisviiside korral toimub normi muutmine vastavalt etteandeseadme, annusti või jaoturi ehitusele veidi erinevalt. Kui kahekettalistel ketaslaoturitel saab reguleerida poole töölaiause kaupa (juba on olemas selliseid laotureid), siis paikväetamiseseadmete korral on vähim reguleerimislaius piiratud seadmete maksumusega. Mida rohkem on eraldi juhitavaid sektsioone, seda täpsem on soovitud tulemus. Kuid samas suureneb oluliselt nii seadmete maksumus kui võimalike tõrgete tõenäosus. Sestap on levinud, sarnaselt taimekaitsepretsidele, töölaiause jagamine eraldi juhitavateks sektsioonideks.

Muutnormiga väetamist saab teha nii varem koostatud töökaardi alusel (sellisel juhul laotatakse varem kindlaks määratud kogusega) kui vahetult töö tegemisel taimestikus määratud parameetrite alusel (reaalajaseire).

Taimede seisundi määramiseks on kasutusel mitmesuguseid andureid. Need jagunevad töö põhimõtte järgi kahte rühma:

- kontaktandurid;
- kontaktita andurid.

Kontaktandurite puhul kasutatakse taimiku hindamiseks seal lükatava elemendi (reeglina varras) kõrvalekalde sõltuvust taimiku tihedusest. Teades edasiliikumise kiirust ja taimiku eripära (liik, sort, kasvufaas) on võimalik kõrvalekalde ulatuse alusel hinnata kasvava taimiku massi. Sellise anduri peamiseks probleemiks on sõltuvus füüsilistest näitajatest - niiskus, puhtus, taimiku eripärad. Eeliseks aga lihtsus ja odavus. Selliseid seadmeid kasutati selle sajandi alguses laialdaselt rohumaade ja teraviljade jaotatud pealtväetamisel.

Kontaktivabade andurite korral analüüsitakse taimedelt peegelduva valguse spektrit. Mida elujulisemad on taimed, seda "rohelisem" on peegeldunud valgus. Peamiseks probleemiks on valgusolude pidev muutumine. Seetõttu on uuemates süsteemides lisatud valgusallikas, mille kiirata valgus on konkreetsel lainepikkusel ja seetõttu on võimalik täpsemalt taimestiku seisundit hinnata.

Asukohapõhiseks väetamiseks tuleb töomasina asukoht üheselt määrata. Selleks kasutatakse kohtmäärangusüsteemi vastuvõtturit ehk navigeri. Tihti on naviger eraldiseisev komponent, mille väljastatud asukohasignaal on masinagregaadile üheks sisendiks muude hulgas. Nagu varem mainitud, ei sobi iga naviger väetamistöödeks - korrigeerimata naviger ei taga vajalikku täpsust ja sama probleem esineb korrigeerimis-signaali katkemisel ka DGPS seadmetel (nii avalikust allikast kui oma tugijaamast signaali saava seadme puhul). Kui tööks kasutatakse avalikust allikast pärinevat korrigeerimis-signaali (rannikumajakas, EGNOS, Maa-ame-

ti avalik teenus), tuleb eriti hoolikalt jälgida selle kvaliteeti. Väga oluline on see esmase töötuse korral tehnoradadeta põllul, kuna puudub visuaalse kontrolli võimalus ja tehtud vigu on hiljem väga keeruline parandada.

Kui kasutatakse RTK tasemel navigeri, milles kõrge täpsusega asukohasignaal toodetakse süsteemisiseselt töökoha vahetus läheduses (ettevõttesiseselt või ettevõtetevahelise koostööna, enamalt 10 km raadiuses), on võimalike ennustatust suuremate hälvete esinemine vähetõenäoline, kui jaamadevaheline side ei katke. Arvestades mobiilsides kasutatavate andmesidepakettide madalaid hindu ja edastatavat väikest andmemahutu, tasub kaaluda veebipõhise andmetranspordi kasutamist üle GSM-võrgu. Selline viis tagab protokollile ülesehituse tõttu andmete jõudmise kohale ka siis, kui side peaks hetkeliselt katkema. Raadiomodemi korral võib side taastumine võtta aega kümneid sekundeid. Ning sel ajal ei toimi ka asukohapõhised süsteemid automaatrežiimil. Kas ja mil viisil säärased katkestused on kärsiti korrigeeritavad, sõltub konkreetse asukohamääramissüsteemi tarkvarast.

10.2.3 RAKENDUSED

Väetamistöodel saab täppisviljeluse tehnoloogiast abi kahe ülesande täitmisel:

- masina hoidmine tööeel (juhiabistid);
- väetise annustamine vastavalt laoturi asukoha vajadusele.

Masina nõuetekohane liikumine tööeel määrab tehtud töö kvaliteedi. Vaid nii on tagatud, et töökäigud liituvad ilma vahelejättude ja ülekateteta.

Navigeri toel toimivad ja sõidu täpsust tagada aitavad roolimisabistid jagunevad hálbenäidikuteks (hálbekuvarid) ja roolimisautomaatideks.

Esimesel juhul kuvatakse etteantud tööeel hálbimise ulatust märgutuledega paneelil või graafiliste sümbolitega ekraanil, kusjuures kuva aluseks on navigeri andmed.

Säärasel viisil toimivad lihtsamad ja odavamad hálbenäidikud. Kuigi seadmestik on odavam, suureneb sellega juhi vaimne koormus märgutulede pingas jälgimise vajaduse tõttu ja tulemus sõltub suuresti juhi keskendumisvõimest ja oskusest kuvatavat infot õigesti töödelda.

Roolimisautomaadid võivad olla nii juhtimissüsteemi integreeritud elektrohüdraulilised täiturid kui roolisambale kinnitatavad elektrimootorid. Pakutakse ka traktori rooli asendavaid kombineeritud seadmeid, kus roolivõru ja elektrimootor moodustavad ühtse terviku.

Kuigi automaatselt masinagregaati tööeel hoidvad süsteemid on kallimad ja nende kasutuselevõtulävi kogenud juhtidel on kõrgem, on nende kasutamine suure haardelaiusega väetamismasinatel otstarbekas (Võsa, 2006). Oluliselt vähenevad nii juhi koormus kui inimfaktorist tingitud vead. Kohtmäärangusüsteemi tõrkest tingitud töökatkestused ja kõrvalekalded on mõlemal juhul võimalikud.

Võimalusel tasub eelistada rooli hüdroüsteemi integreeritud täituriga roolimisautomaati. Kuigi rooliratta kaudu toimivad lahendused on muutunud oluliselt töökindlamaks, on nende täpsus, reaktsiooniaeg ja töökiirus veidi madalamad integreeritud lahendusega võrreldes.

Masinatootjad on panustanud oluliselt traktorite ja haakemasinate omavahelise koostöö sujuvusse. Kui varem tähendas iga töömasin erinevat juhtpulti ja parimal juhul oli vaid ühe tootja puhul võimalik sama juhtpuldiga erinevaid töömasinaid juhtida, siis standardiseeritud andmevahetusprotokoll (ja selleks vajalikud liidesed) ISOBUS ehk ISO 11783 standard (ISOBUS 2013) peaks tagama tõrgeteta andmevahetuse traktori ja töömasina juhtarvutite vahel. Mitmel põhjusel (turvalisus, firmateabe hoidmine) ei tööta ühendused erinevate tootjate seadmete vahel alati tõrgeteta, kuid põhifunktsioonid on reeglina kättesaadavad. See võimaldab loobuda kabiini vähest ruumi ebaotstarbekalt kasutatavatest ja pahatihti ebamugavalt paiknevatest lisapultidest ning kasutada töömasina juhtimiseks traktori põhiterminali.

Juhiabistite ja virtuaalsete tehnoradade kasutamine loob töötegemiseks mitmeid uusi võimalusi. Toome allpool mõned näited:

- töökäikude läbimise järjekorra muutmine pööretele kuuluva aja optimeerimiseks;

- mahutis oleva materjalikoguse alusel töökäikude järjekorra muutmine;
 - etteande automaatne väljalülitamine piiranguvööndites või juba töödeldud aladel. Tarkvara kaasabil on teatud ketaslaoturitel võimalik automaatselt korrigeerida nii tuule mõju kui põllu piirdele lähenedes nihutada laotamismustrit, vähendades nii väetiseannust põllu piirdel (ühtlasi võimalikku toitainete ärakannet põllult);
 - mahuti tühjenemise tõttu katkenud töökäigu jätkamine katkestamise kohalt;
 - mitme masina töötamine ühiselt samal põllul. See eeldab masinatevahelist sidet reaajas ja kindlasti RTK-tasemel kohtmäärangusüsteemi kasutamist;
 - laadurite operatiivne ümberpaiknemine vastavalt mahuti tühjenemispunktile, võimalus ühe laaduri kasutamiseks mitme laoturi teenindamisel ooteaegade minimeerimisega.
- Ülaltoodud võimalused ei ole ainsad, vaid kõigest maailma (ja Eesti) eduka praktika näited. Tuleb meeles pidada, et täppisviljelus tegelikult uusi võtteid ei too, vaid võimaldab tuntud asju teha uuel tasemel nii kvaliteedis kui keskkonnamõjude minimeerimisel.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Aerway. 2012. SSD Manure Management. AerWay. www.aerway.com/index.php?page=ssd&type=ag (01.01.2012).
- AGA. 2011. Ohutuskaart - safety datasheet. Ammoniaak. AS Eesti AGA, 9 lk. [www.aga.ee/international/web/lg/ee/like35agae.nsf/repositorybyalias/2toost_ammoniaak/\\$file/ammoniaak.pdf](http://www.aga.ee/international/web/lg/ee/like35agae.nsf/repositorybyalias/2toost_ammoniaak/$file/ammoniaak.pdf) (01.01.2012).
- AGRI-FACTS. 2008. Ammonia Volatilization from Manure Application. Alberta Agriculture and Rural Development. Agriculture Stewardship Division. [www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/agdex12064](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex12064) (01.01.2012).
- Agrodan. 2011. Produkter. Maskinfabrikken Agrodan A/S. www.agrodan.dk/ (01.01.2011).
- Agrometer. 2012. SRS 12 Umbilical Slurry Injector. Agrometer A/S. www.agrometer.dk/00082/00219/ (01.01.2012).
- Agromiljo. 2012. Rotary distributor. Agromiljø AS. www.agromiljo.no (01.01.2012).
- Agronic. 2010. Agronic slurry tankers. Agronic OY www.agronic.fi/images/stories/pdf/en/agronic%20slurry%20tankers%202012%20lr.pdf (01.01.2012).
- Agrotech. 2012. Environmental technology verification, SyreN. AgroTech A/S, 4 pp. www.etv-denmark.com/files/air/Verification_statement_SyreN.pdf (01.01.2012).
- AgSystems. 2011. Disk seals. Ag Systems, Inc. www.agsystemsonline.com/nitrogen-applicators/disk-seal.cfm (01.01.2011).
- Alaru, M., Lauk, R., Noormets, M. 2012. Reoveesette järelmõju odra saagile ja raksemetallide sisaldusele. *Agronoomia* 2010/2011, lk 9–14.
- Alberta EFP. 2013. New vertical beater manure spreaders offer environmental benefits. Alberta Environmental Farm Plan. www.albertaefp.com/n_magazine/mag_1302.php (01.01.2013).
- ALFAM. 2002. Ammonia Loss from Field-applied Animal Manure. ALFAM, an EU-supported project to co-ordinate and disseminate information on the losses of ammonia from field-applied animal manures. www.alfam.dk/main.asp (01.01.2012).
- Allu Group. 2013. Screener crusher. Allu group, Inc. ogpn.baumpub.com/products/2273/screener-crusher (01.01.2013).
- Altec. 2010. Sackheber B150 für Saatgutsäcke. Altec. www.altec.fr/de/nouveautes.html
- Altec. 2009. Starre sackheber B80 - Nutzlast 800 kg für Ausladung 2,50 m. Altec. <http://www.altec.fr/de/levesacs.html> (01.01.2013).
- Altec. 2012. Kasten-düngerstreuer. Altec. www.altec.fr/de/engrais_epandeurs_en_ligne.html (01.01.2012).
- Amazone. 2011. Betriebsanleitung Amazone, Pantera 4001 Selbstfahrende Feldspritze. AMAZONEN-Werke, 236 s.
- Amazone. 2013. Amazone Bilddatenbank AMAZONEN-Werke. www.bbg-leipzig.de/1033.asp (01.01.2013).
- Ameerikas, M. 2010. Lämmastikväetisteta saaki ei saa. Eesti Põllumees. www.pikk.ee/est/?newsID=16561&type=archive (01.01.2011).
- BalticDeal. 2012a. Sõnniku laotamine. BalticDeal - Läänemere piirkonna keskkonnaalane koostööprojekt. <http://www.pikk.ee/balticdeal/praktikad/?newsID=357> (01.01.2012).
- BalticDeal. 2012b. Slurry acidification. BalticDeal - Läänemere piirkonna keskkonnaalane koostööprojekt. <http://www.balticdeal.eu/measure/slurry-acidification/> (01.01.2012).
- Bergmann 2012. Bergmann TSW Universal-Breitstreuwagen. Ludwig Bergmann GmbH. www.bergmann-goldenstedt.de (01.01.2012).
- Bicudo, J.R., Schmidt, D.R., Jacobson, L.D. 2004. Using Covers to Minimize Odor and Gas Emissions from Manure Storages. Cooperative Extension Service, University of Kentucky, 5 pp. www.ca.uky.edu/agc/pubs/aen/aen84/aen84.pdf (01.01.2012).
- Billericay. 2010. What's new in Farming. Billericay Farm Services: Autostreamer revolutionises liquid fertiliser application. What's new in Farming. www.wnif.co.uk/articles/399/1/Billericay-Farm-Services-Autostreamer-revolutionises-liquid-fertiliser-application/Page1.html (01.01.2011).
- Biologunevate..., 2006. Biologunevate jäätmete käitlemise tegevuskava aastani 2013. EV Keskkonnaministeeriumi. As En-prima Estivo, 95 lk. http://www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=166752/Biologunevat_aastani+2013.pdf (01.01.2012).
- Birkmose, T. ja Pedersen, T.R. 2009. Contribution of biogas plants to nutrient management planning. *Anaerobic Digestion: Opportunities for Agriculture and Environment*, pp.19–26.
- BISZ. 2012. Carbokalklagerung am Feldrand. Kuratorium für Versuchswesen und Beratung im Zuckerrübenanbau. bisz.suedzucker.de/Duengung/Carbokalk/Hinweise_zur_Lagerung/ (01.01.2012).
- BlueJet. 2010. Fertilizer Injection Applicators. Thurston Manufacturing Company. www.blu-jet.com/AT3000.htm (01.01.2011).
- Bogun, G. 1999. Metoodilised soovituselised lubiväetiste laotamise kvaliteedi kontrollimiseks Eesti vabariigis. EPMI, 36 lk. www.eria.ee/public/files/Lubivaetised_Bogun.pdf (01.01.2012).
- Bogun, G. ja Jõgeva, V. 2005. Soovituselised vedel- ja tahesõnniku kasutamiseks majandis, tagamaks keskkonnakaitsenõuete täitmise. EMVI, 32 lk. www.eria.ee/public/files/Soennik_sovitusel_2005_1.pdf (01.01.2012).
- Boyd, P. M., Hanna, H. M., Baker, J. L. ja Colvin, T. S. 2003. Field evaluation of anhydrous ammonia manifold performance and variability. ASAE Paper Number: 021039. 2002 ASAE Annual International Meeting / CIGR XVth World Congress, 23 pp. www3.abe.iastate.edu/machinery/asaemanifoldpaper.pdf (01.01.2013).

- Bredal. 2012. Laotusseade Bredal K 85 koos 12 m poomiga. OÜ Agriland. www.agriland.ee/tootekataloog/teenused/237 (01.01.2012).
- Briiri. 2009. Gülle-Verteilssysteme und kompetente Applikationstechnik. Briiri GmbH. www.briiri.de/website/images/stories/pdf/Guelleverteilsysteme.pdf (01.01.2012).
- Briiri. 2012. Briiri UTS Standard–Streuwerk. Briiri GmbH. www.briiri.de (01.01.2012).
- Brust, G. 2011. Soil Fertility and Cover Crops. University of Maryland Extension, 15 pp. www.mdorganicveg.umd.edu/files/Chapter%205%20-%20web%20version.pdf (01.01.2011).
- CAEGL. 2007. Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 6. Committee on Acute Exposure Guideline Levels, Committee on Toxicology, National Research Council. National Academy of Sciences, 113 pp. www.epa.gov/oppt/aegl/pubs/ammonia_final_volume6_2007.pdf (01.01.2011).
- Chafer. 2013. Streambar MR. Chafer Machinery. www.crops-prayers.com/new-site/products-2/products/streambar-multi-rate/ (01.01.2013).
- Creamer, N. G. ja Baldwin, K. R. 1999. Summer Cover Crops. North Carolina Cooperative Extension Service. www.ces.ncsu.edu/depts/hort/hil/hil-37.html (01.01.2011).
- Dawn. 2011. FreeFARM Liquid Fertilizer Attachment. Dawn Equipment Company. www.dawnequipment.com/FreeFARM_liquid_fertilizer_applicator.html (01.01.2013).
- Deaker, R., Roughley, R. J. ja Kennedy, I. R. 2004. Legume seed inoculation technology—a review. *Soil Biology & Biochemistry* 36, 1275–1288.
- DEFRA. 2006. ADAS Research project *A Collation and Analysis of Current Ammonia Research*. Department for Environment, Food and Rural Affairs, UK. sciencesearch.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&Completed=0&ProjectID=11440 (01.01.2012).
- DeLaval. 2011. Everything you need for profitable manure handling DeLaval manure systems. DeLaval, 16 pp. www.delaval.com/ImageVaultFiles/id_2267/cf_5/ManureAssortment.pdf (01.01.2011).
- Derpsch, R. 2012. The Knife Roller A new development for permanent cover cropping systems. www.rolf-derpsch.com/kniferoller.html (01.01.2012).
- Dorno, N., Dinuccio, E. ja Balsari, P. 2010. Assessment of different covering systems to reduce gaseous losses from slurry storage. 14th Ramiran International Conference, Lisboa, Portugal, 4 pp. www.ramiran.net/ramiran2010/docs/Ramiran2010_0253_final.pdf (01.01.2012).
- Doyle. 2012. Doyle „Big Shot” Track Spreader. Doyle Equipment Manufacturing Company. www.doylemfg.com/big_shot.html (01.01.2012).
- Doyle. 2012a. Doyle „Top Shot” Aggregate Conveyor. Doyle Equipment Manufacturing Company. www.doylemfg.com/lime_loader.html (01.01.2012).
- Duo Lift. 2011. Trailers and Running Gears for Agriculture and Industry. Duo Lift Manufacturing. www.duolift.com/frg/N3300.htm (01.01.2011).
- Dürholdt. 2012. Düngemittelindustrie. Franz Dürholdt GmbH & Co. KG. www.duerholdt.de/index.php?id=741 (01.01.2012).
- Effizient düngen. 2012. Mischdünger und ihre Tücken. www.effizientduengen.de/files/mischduenger.php (01.01.2012).
- Einböck. 2013. Pneumaticstar undershower. Terrington Agricultural and Horticultural Machinery Importers. www.terrington-machinery.co.uk/img/products/Seeder.JPG1.jpg (01.01.2013).
- EKUK. 2010. Reoveesette töötlemise strateegia väljatöötamine, sh ohutu taaskasutamise tagamine järelevalve tõhustamise, keemiliste- ja bioloogiliste indikaatornäitajate rakendamise ning kvaliteedi süsteemide juurutamise abil. II ETAPP. Tallinn, 2010. OÜ Eesti Keskkonnauringute Keskus 208 lk. www.klab.ee/wp-content/uploads/2010/05/Reoveesette_tootlemise_strateegia.pdf (01.01.2012).
- EMVI. 2012. Mullaharimise intensiivsuse mõju vedelsõnnikuga väetatud põllukultuuride saagile ja kvaliteedile ning mulla seisundile. Projekti lõpparuanne. Riiklik programm „Põllumajanduslikud rakendusuringud ja arendustegevus aastatel 2009–2014”. EMVI, 25 lk.
- English, S. ja Fleming, R. 2006. Liquid Manure Storage Covers. Final Report. University of Guelph Ridgetown Campus Ridgetown, Ontario, Canada. 19 pp.
- Equaply. 2011. The anh3 EQUAPLY® Anhydrous delivery system. Equaply Anhydrous Delivery System. www.anh3.com/ (01.01.2011).
- Erdman, L. W. 1967. Legume inoculation: what it is - what it does. *Farmer's bulletin* 2003. 10 pp. www.caf.wvu.edu/~forage/library/forglvt/bulletins/bul2003.pdf (01.01.2013).
- Erker, B. ja Brick, M. A. 2012. Legume Seed Inoculants. Colorado State University Extension. No 0.305. www.ext.colostate.edu/pubs/crops/00305.html (01.01.2012).
- Excon. 2013. Flex-tanks. Excon Pump Solutions. exconpumps.co.uk/tanks/other/fertiliser/ (01.01.2013).
- Fernández, F. 2011. Myths and Truths about Anhydrous Ammonia Fertilizer. University of Illinois Extensions. The Bulletin. No. 4. 2011.
- FiBL. 2013. Impfung mit Knöllchenbakterien. Forschungsinstitut für biologischen Landbau. www.sojainfo.de/soja_infos_anbau_impfung.html (01.01.2013).
- Fibo. 2012. Lägahoidlate katmine kergkruusaga. Saint-Gobain Ehitustooted AS, Weber äriüksus. www.maxit.ee/media/34/kerkruus/L%E4gahoidla_katmine_Fibo_kerkkruusaga.pdf (01.01.2012).

- Fliegl. 2012. Fliegl-Abschiebesystem. Fliegl Agrartechnik GmbH. www.fliegl-dosiertechnik.de/files/smthumbnaildata/detail/8/5/2/4/Unbenaeennt1.jpg (01.01.2012).
- FNA. 2011. Ammonium Sulphate (AMS). Farmers of North America. www.fna.ca/en/component/content/article/96-ammonium-sulphate-ams (01.01.2011).
- Fortuna, V. 1985. Masinapargi ekspluatatsioon. Tallinn, 376 lk.
- Fortuna. 2012. Tridem Kalkstreuer für LU Jürgens. Fortuna Fahrzeugbau GmbH & Co.KG. www.fortuna.de/de/aktuelles/artikel/article/tridem-kalkstreuer-fuer-lu-juergens.html (01.01.2012).
- Freestone, J. 2011 Testing Our Fertiliser Spreader. Farmer Jake, Jake Freestone blogspot. farmerjakef.blogspot.com/2011/11/testing-our-fertiliser-spreader.html (01.01.2011).
- Frick, R. 1999. Verteilgeräte an Güllefässern. FAT Berichte. Nr. 531 1999.
- Fulhage, C. ja Pfof, D. 2001. Swine Manure Management Systems in Missouri. Agricultural Engineering Extension. University of Missouri Extension. extension.missouri.edu/p/EQ350 (01.01.2011).
- Fulton, J. 1997. Calibrating Dry Broadcast Fertilizer Applicators. Alabama Cooperative Extension System. www.aces.edu/pubs/docs/A/ANR-0724/#resourceAreas (01.01.2011).
- Galler, J. 2007. Kalkdüngung. Basis für fruchtbare Böden. Landwirtschaftskammer Salzburg Betriebsentwicklung und Umwelt, 28 s. www.bodenkalk.at/beratung/brosch_kalk.pdf (01.01.2011).
- GC. 2011. Liquid Ammonium Sulfate. Product data sheet. Syracuse Technical Center, 1 pp. www.generalchemical.com/assets/pdf/Liquid_Ammonium_Sulfate_PDS.pdf (01.01.2011).
- GEA. 2012. Manure Management. GEA Farm Technologies GmbH. www.gea-farmtechnologies.com/hq/en/bu/farm-equipment/manure_management/default.aspx (01.01.2012).
- Graematic. 2011. Nitro-Jet gives oilseed rape establishment a boost. Graematic Ltd. www.graematic.co.uk/0906_Nitro-Jet.html (01.01.2011).
- GrowOrganic. 2009. Legume Seed Inoculation. Product Guide. Peaceful Valley Farm Supply, Inc, 1 pp. groworganic.com/media/pdfs/legume-l.pdf (01.01.2011).
- Hanna, M., Richard, T. ja Norman H. 2008. Calibration and uniformity of solid manure spreaders. Iowa State University Extension, 8 pp. www.extension.iastate.edu/Publications/PM1941.pdf (01.01.2011).
- Hannolainen, E. 2004. Põllukultuuride väetamine. EMVI, 3 lk. www.eria.ee/public/files/vaetamine_1.pdf (01.01.2011).
- Hannolainen, E. 2005. Haljasväetiskultuurid lämmastikuallikana ja lämmastiku kaod. Infoleht Nr. 173/2005. EMVI, 13 lk. www.eria.ee/public/files/Infoleht_173.pdf (01.01.2011).
- Hardi. 2013. Field sprayers nozzle list. Hardi international A/S. site.hardi-nozzles.com/en/sitecore/content/Nozzles/Field%20Spraying/Nozzle%20List.aspx (01.01.2013).
- Hea Põllumajandustava. 2007. Koostajad Rooma, L., Penu, P., Metsur, M. ja Valdmaa, T. EV Põllumajandusministeerium Tallinn, AS Folger Art, 100 lk. www.agri.ee/public/Hea_pollumajandustava.pdf (01.01.2011).
- Hexatec. 2011. Hexa-Cover katteplaadid. Hexatec OÜ. www.hexatec.ee/rakendused/pollumajandus (01.01.2012).
- Hill, P. 2010. Choice of nozzles and dribble bars widens. Farmers Weekly. www.fwi.co.uk/Articles/15/02/2010/119939/Choice-of-nozzles-and-dribble-barswidens.htm (15.02.2010).
- HiSpec. 2012. Side spreaders. Hi Spec Engineering Ltd. www.hispec.net/html/sidespr.html (01.01.2012).
- Hodges, S. C. 2004. Improving Storage and Handling of Fertilizer. National Farm*A*Syst Program, University of Wisconsin, 12 pp. www.soil.ncsu.edu/publications/assist/farmassist/fert-FAS.pdf (01.01.2012).
- Hufgard. 2012. Kalkwerk Hufgard. www.hufgard.de/kalkwerk_hufgard/produkte_leistungen/produkte_duengetechnik_02.htm (01.01.2012).
- Huijsmans, J.F.M. 2003. Manure application and ammonia volatilization. Doctoral Thesis. Wageningen University. 160 pp.
- ICL Fertilizers. 2012. ICL Fertilizers Europe. www.iclfertilizers.com/Fertilizers/ICLFDDeutschland/Pages/PhotoGallery.aspx (01.01.2012).
- In2EastAfrica. 2011. Lime fertiliser enter market enter enters local market. Mar 9th, 2011. in2eastafrika.net/lime-fertiliser-enter-market-enter-enters-local-market/ (01.01.2011).
- Infarm. 2007. FarmTest af gylleforsuringsanlæg fra Infarm A/S. Landbrugsinfo. www.landbrugsinfo.dk/Tvaerfaglige-emner/FarmTest/Sider/FarmTest_af_gylleforsuringsanlaeg_fra_In.aspx (01.01.2012).
- INO. 2013. Flail mower Profi. INO BREZICE d.o.o. www.inobrezice.com/eng/flail-mower-uni-ino.html (01.01.2013).
- Iowa. 2012. Sudenga Super Scoop & Ultra Scoop Augers. Iowa Farm Equipment. iowafarmequipment.com/sudenga-super-ultra-scoop-augers.html#Super (01.01.2012).
- ISOBUS. 2013. What is ISOBUS?. www.aef-online.org/en/about-isobus/what-is-isobus.html (01.01.2013).
- Jacobsen, B. H. 2002. Reduce the nitrogen loss and maintain the income - the economics of manure handling. 13th International Farm Management Congress, The Netherlands, Wageningen, 11 pp. www.ifmaonline.org/pdf/congress/Jacobsen.pdf (01.01.2012).
- Jamesway. 2012. Semi-solid manure pump SMP60. Jamesway Farm Equipment, Inc., 8 pp. www.jameswayfarmeq.com/media/jamesway_page.brochure/en-CA/Hyd%20Piston%20Pump%208%20pg%20WEB.pdf (01.01.2012).
- Janssen. 2012. Radlader. Janssen KG Rhede/Ems. www.janssenrhede.de/images/stories/leistungen/Duengung_Mist_Mitte

- jpg (01.01.2012).
- Jeantil. 2012. The range of slurry tankers. Jeantil Company. www.jeantil.com/Contentus-Jeantil/2-32-0-0-0-49-2-the_range_of_slurry_tankers.html (01.01.2012).
- Joskin. 2009. Slurry spreaders. Joskin, 40 pp. www.rekord-system.no/Html%20sider/Brosjyrer/Pdf%20filer/Slurry_spreaders_-_40_pages1_%28J98761178%29.pdf (01.01.2011).
- Joskin. 2011. Muck spreaders. Tornado3. Joskin, 2 pp. [www.joskin.com/pdf/prosper/epandeurs%20fumier/en/14%20Tornado3%20\(J98761630\).pdf](http://www.joskin.com/pdf/prosper/epandeurs%20fumier/en/14%20Tornado3%20(J98761630).pdf) (01.01.2011).
- Järvan, M. 2012. Happelised mullad vajavad lupjamist. *Maaleht*. 08.05.2012.
- Järvan, M. ja Järvan, U. 2010. Muldade lupjamine. EMVI. AS *Rebellis*, 116 lk.
- Kaasik, A., Leming, R., Rimmel, T. 2002. Toitainete (N, P, K) kadu veise- ja seakasvatustes. *Agraarteadus* 2002, XIII, 4, 201–211.
- Kemikaali ohtlikkuse... 2011. Kemikaali ohtlikkuse alammäär ja ohtliku kemikaali künniskogus ning suurõnnetuse ohuga ettevõtte ohtlikkuse kategooria ja ohtliku ettevõtte määratlemise kord. Riigi Teataja. RTL 2005, 72, 994.
- Keskkonnaamet. 2011. Sõnnikukäitlus. 17 lk. www.keskkonnaamet.ee/public/vesi/Sonnikukaitluse_infomaterjal.PDF (01.01.2011).
- Kimadan, 2009. Komplettes Dosierungs und Überwachungssystem. Thyregod A/S. www.thyregod.com/old/upload/kataloger/KIMACONTROLLER%20II%20De%20web.pdf (01.01.2011).
- Konekesko. 2012. Umega haagised. Konekesko Eesti AS. www.konekesko.com/ee/Default.aspx?tabid=7669 (01.01.2012).
- Kopecky, M. J., Meyers, N. L. ja Wasko, W. 1995. Using industrial wood ash as a soil amendment. University of Wisconsin-Extension. 4 pp. learningstore.uwex.edu/assets/pdfs/A3635.pdf (01.01.2011).
- Kotte. 2012. PreMaister. Kotte Landtechnik GmbH & Co. KG. www.kotte-landtechnik.de/de/home/produkte/guelletechnik/applikationstechnik.html (01.01.2012).
- KSCC. 2012. Manure spreaders. Ken Smith Corral Cleaners. [kssc.ca](http://www.kssc.ca) (01.01.2012).
- Kuhn. 2009. ProTwin Slinger. Side discharge spreaders. Kuhn North America, Inc. www.kuhnnorthamerica.com/us/range/manure-spreaders/side-discharge-spreaders/8150.html (01.01.2011).
- Kuhn. 2012. Kuhn Side Discharge Spreaders. Kuhn North America, Inc. www.kuhnnorthamerica.com/us/product-tips-manure-spreader-guide.html (01.01.2012).
- Kverneland. 2012. CentreFlow Spreading System. Kverneland AS. www.kverneland.com/Kverneland-Spreading-Equipment/Disc-Spreaders/Disc-Spreaders/Features/CentreFlow-Spreading-System (01.01.2012).
- Land ja Forst. 2008. Stickstoffdüngung im CULTAN-Verfahren. *Land & Forst*. 8, 2008, s 24–25.
- Landry, H. 2005. Numerical modeling of machine-product interactions in solid and semi-solid manure handling and land application. A Thesis Submitted to the College of Graduate Studies and Research in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in the Department of Agricultural and Bioresource Engineering University of Saskatchewan. Saskatoon. 251 pp.
- Lauringson, E, Talgre, L ja Roostalu, H. 2005. Haljasväetiste kasutamise võimalustest – esialgseid tulemusi EPMÜ-s rajatavast haljasväetiste katsest. Eesti Põllumajandusülikool, 31 lk. www.veed.ee/failid/file/esitlushv.ppt (01.01.2013).
- Lauringson, E. ja Talgre, L. 2010. Haljasväetiste kasutamine parandab mulla omadusi. *Maamajandus*, juuni 2010, lk 21–23.
- Lechler. 2011. Flüssigdüngung Düsen und Zubehör. Anwendungshinweise. Lechler GmbH, 10 s.
- Leick, B. C. E. 2003. Emission von Ammoniak (NH₃) und Lachgas (N₂O) von landwirtschaftlich genutzten Böden in Abhängigkeit von produktionstechnischen Maßnahmen. Doctoral Thesis. Fakultät Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim, 157 pp.
- Leola, A., Leola, T., Luts, V. 2007. Sõnnikuhoidlate ehitamine. (Koostaja Vello Luts). 2007. Jäned, 65 lk.
- Leon's. 2011. LEON Silver Spreaders. LEON's Mfg. Company Inc. www.leonsmfg.com/files/articles/1_brochure_spreaders.pdf (01.01.2013).
- Leopold Center. 2001. Improving the uniformity of anhydrous ammonia application. Iowa State University, University Extension, 4 pp. www.extension.iastate.edu/Publications/PM1875.pdf (01.01.2011).
- Lichtfouse, E., Marjolaine Hamelin, Mireille Navarrete, Philippe Debaeke. 2011. Sustainable Agriculture, Volume 2. Springer, 2011. 991 pp.
- LimePlus. 2012. Patented Bucket Delivery System. LimePlus. www.limeplus.co.nz/our-system (01.01.2012).
- Liquidsystems. 2011. Pattison Liquid Systems Inc. www.liquidsystems.net/store/product_page.asp?cid=929&prd_id=154&grp_id=20 (01.01.2011).
- Loide, V. 2010. Valge mesika kasumlikkusest mullale ja terasaagile ning selle kvaliteedile. EMVI, 13 lk. www.veed.ee/failid/file/mesika_lugu.pdf (01.01.2012).
- Lothar Becker. 2012. Tauchmotorpumpe COK/COKR. Lothar Becker Agrartechnik GmbH. www.becker-seesen.de/tauchmotorpumpe_cok_cokr.php (01.01.2012).
- Luts, V. 2009. Sõnnikumajanduse korrastamine. Eesti talu V. 19.02.2009. www.taluliit.ee/index.php?option=com_content&view=article&id=14:eesti-talu-v&catid=10:infolehed&Itemid=16 (01.01.2011). Maaparandushoiutöödele esitatavad nõuded. 2012. Riigi Teataja RTL 2003, 90, 1336.
- Manure handling. 1994. Swedish Institute of Agricultural Engineering.

- ring at the request of Alfa Laval Agri AB. 64 pp.
- Maves. 2005. Sõnniku keskkonda säästev hoidmine ja käitlemine. AS Maves, Tallinn, 48 lk.
- Meripõld, H. 2005. Galeega agrotehnoloogia. Infoleht nr. 149/2005. EMVI, 4 lk. www.eria.ee/public/files/Infoleht_149.pdf (01.01.2013).
- Meyer's Equipment. 2012. Meyer's Equipment Manufacturing Corporation. www.emcspreaders.com (01.01.2012).
- Misselbrook, T. H., Nicholson, F. A., Chambers, B. J. 2005. Predicting ammonia losses following the application of livestock manure to land. *Biosystems Technology* 96, 159–168.
- Monroeswcd. 2012. Monroe Soil and Water Conservation District Equipment Rental Program. monroeswcd.org/equipment.html (01.01.2012).
- MTK. 2011. Udredningsrapport for teknologier – med særligt henblik på miljøeffektive teknologier til husdyrproduktionen. MTK - Forsuring af svinegyll. Landbrugsinfo. www.landbrugsinfo.dk/ledelse/Strategi/Miljoestrategi/Sider/MTK_Forsuringafsvinegyll.aspx (01.01.2011).
- Mölder, A. 2011. Haljasalade kasvupinnased ja multsid. Luua, 211 lk. www.ekk.edu.ee/vvfiles/0/haljasalade_kasvupinnased_ja_multsid.pdf (01.01.2013).
- Ndegwa, P. M., Hristov, A. N., Arogo, J. ja Sheffield, R. E. 2008. A review of ammonia emission mitigation techniques for concentrated animal feeding operations *Biosystems engineering* 100, pp. 453–469.
- NH3 Company. 2011. How much vapor does an anhydrous applicator inject into the soil. A NH3 Company. www.anhydrous-applicator.com/ (01.01.2011).
- Nichols. 2013. Fertilizer Knives. Nichols Tillage Tools, Inc. www.nicholstillagetools.com/?page_id=30&category=17 (01.01.2013).
- Nordkalk. 2012. Lubiväetis. Lubjakivijahu, jämedateraline. Nordkalk pH+ Natural. Lubiväetise teabeleht. Nordkalk AS, 1 lk. www.nordkalk.ee/default.asp?viewID=1976 (01.01.2012).
- Nørregaard Hansen, M. 2008. Effect of slurry acidification on emissions of the greenhouse gases methane and nitrous oxide from slurry storage facilities. AgroTech. www.infarm.dk/documents/00095.pdf (01.01.2012).
- Nowatzki, J. 2011. Anhydrous Ammonia: Managing The Risks. North Dakota State University Extension Service, 16 pp. www.ags.ndsu.edu/pubs/ageng/safety/ae1149.pdf (01.01.2011).
- Novozymes. 2011. Nitragin Gold. Novozymes BioAg Inc., 2 pp. www.bioag.novozymes.com/en/products/unitedstates/biofertility/nitragin-gold/Documents/2012NitraginGold_US_0811lr.pdf (01.01.2011).
- NSW. 2005. Inoculating and pelleting pasture legume seed. Agfact P2.2.7. © State of New South Wales through Department of Trade and Investment, Regional Infrastructure and Services. www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/pastures/pastures-and-rangelands/establishment/inoculating-legume-seed (01.01.2011).
- Nõuded kemikaali hoiukohale... 2011. Nõuded kemikaali hoiukohale, peale- ja ümberlaadimiskohale ning teistele kemikaali käitlemiseks vajalikele ehitistele sadamas, autoterminalis, raudteejaamas ja lennujaamas ning erinõuded ammooniumnitraadi käitlemisel. Riigi Teataja. RTL 2005, 106, 1629.
- Nõuded väetise... 2012. Nõuded väetise koostisele väetise liikide kaupa. Põllumajandusministri määrus. RTL 2005, 33, 466.
- Opico. 2011. Integrated non-folding or hydraulic folding Subsoiler Nitro-Jet. OPICO Limited. opico.co.uk/agmac/fertiliser-applicators/nitro-jet-liquid-fertiliser-applicator.html (01.01.2011).
- OSU. 2006. Ohio livestock manure management guide. Bulletin 604. Ohio State University Extension. 118 pp.
- Pain, B ja Menzi, H. 2011. Glossary of terms on livestock manure management 2011. Second edition RAMIRAN. www.ramiran.net/DOC/Glossary2003.pdf (01.01.2011).
- PAMI 2012. PAMI Solid Manure Injection System. Prairie Agricultural Machinery Institute. agwired.com/wp-content/uploads/2008/11/hubert-landry-pami-100_1923-6-12-2007-2-21-38-pm.jpg (01.01.2012).
- Pandivere... 2011. Pandivere ja Adavere-Põltsamaa nitraaditundliku ala kaitse-eeskiri. 2011. Riigi Teataja. RT I 2003, 10, 49.
- Penny S. - A. 2006. Methods of Lime Storage and Stabilisation. Soil acidity and amendment. Farmnote 01.2002, Reviewed 2006. Department of Agriculture Western, 2 pp. Australia. www.agric.wa.gov.au/objtwr/imported_assets/content/lwe/land/acid/liming/f00102.pdf (01.01.2011).
- Pichon. 2012. Universal „Big D” – EL7. Pichon. www.pichonindustries.com (01.01.2012).
- Poolloodusliku koosluse. 2010. Määruse “Poolloodusliku koosluse hooldamise toetuse saamise nõuded, toetuse taotlemise ja taotluse menetlemise täpsem kord aastateks 2007–2013”. Lisa 1. RTL 2010, 11, 199.
- Portejoie, S., Martinez, J., Guiziou, F. ja Coste, C. M. 2003. Effect of covering pig slurry stores on the ammonia emission processes. *Bioresource Technology* 87, 199–207.
- Pujol Palol, M. 2008. Les plantes cultivades. 1. Cereals. ISBN: 8460945901. commons.wikimedia.org/wiki/File:Les_Plantes_Cultivades_Cereals_Imatge_236.jpg (01.01.2011).
- PVT. 2007. Saastuse kompleksne vältimine ja kontroll. Parim võimalik tehnika veiste intensiivkasvatuses. Koostaja Kaasik, A. Eesti Maaülikool 70 lk. www.ippc.envir.ee/docs/PVT/Veiste-PVT_parandustega.pdf (01.01.2011).
- Põllumajanduse mehhaniseerimine. 1980. Autorite kollektiiv. Koostanud Tiigimäe, A. Tln. Valgus. 564 lk.
- Päästeamet 2011. Ammoniaagi spetsifikatsioon. Päästeamet, 2 lk. www.rescue.ee/vvfiles/0/Ammoniaak.pdf (01.01.2011).
- Pöttinger. 2013. TWIST 3500 alpin. www.poettinger.at/img/land-

- technik/collection/miststreuer/3500alpin_hq.jpg (01.01.2013).
- R.M.Technologies. 2011. Anhydrous ammonia properties. R.M. Technologies Inc. www.rmtech.net/Anhydrous%20Ammonia.htm (01.01.2011).
- Raudseping, M. 2007. Sojauba, kasvatamise võimalused Eestis ja kasutamine. Jõgeva SAI, 32 lk. www.sordiaretus.ee/files/Raamat/soja1.pdf (01.01.2013).
- Redball. 2011. Liquid Fertilizer Applicator. Redball LLC. www.redballproducts.com/products/fertilizer_application_equipment/1460.php (01.01.2011).
- Reovee... 2011. Reoveesette põllumajanduses, haljastuses ja rekultiveerimisel kasutamise nõuded. Riigi Teataja. RTL 2003, 5, 48.
- Richard Western. 2012. SDS manure spreaders. Richard Western Ltd. www.richard-western.co.uk/side-discharge-muck-spreader.htm (01.01.2012).
- Rickatson, M 2007. Making the switch to liquid fertiliser: Liquid shift fits multiple use machinery plan. *Profi*, 6/2007 pp. 54–58.
- Riskianalüüsi... 2011. Riskianalüüsi käigus määratavate ohuvalade parameetrid. RT I, 01.03.2011, 4. Lisa.
- Risse, M. ja Harris, G. 1999. Best Management Practices for Wood Ash Used as an Agricultural Soil Amendment. Soil Acidity & Liming Training. hubcap.clemson.edu/~blprrt/bestwoodash.html (01.01.1912).
- RTC Tehnika. 2012. Sulguriga kopp. RTC Tehnika OÜ. www.rtc-tehnika.ee/pages/et/toeoeorganite-mueuek/sulguriga-kopp.php (01.01.2012).
- Sami. 2012. Väetisekoti tõstja. AS Sami. www.sami.ee/index.php?id=14106 (01.01.2012).
- Samson. 2010a. SBX drip hose boom. Samson Agro A/S. samson-agro.com/upload/File/brochure/UK/SBX_UK_08_HIGH.pdf (01.01.2012).
- Samson. 2010b. Spreaders. Samson Agro A/S. samson-agro.com/upload/File/brochure/UK/1084225%20Samson%20Spreader_UK_tryk.pdf (01.01.2012).
- Schuler, R. T. 2005. Anhydrous ammonia applicator calibration. University of Wisconsin-Extension, 2 pp. www.uwex.edu/ces/ag/teams/grains/documents/ANHYDROUS%20AMMONIA%20APPLICATOR%20CALIBRATION.pdf (01.01.2013).
- Shutske, J. M. 2005. Using Anhydrous Ammonia Safely on the Farm. University of Minnesota Extension office. www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/dc2326.html (01.01.2011).
- Simplot. 2013. Liquid products. J. R. Simplot Company. www.simplot.com/ag_suppliers/ag_crop_nutrition/liquid_products#Urea Ammonium Nitrate Solution 32-0-0 (01.01.2013).
- Sintermann, J., Neftel, A., Ammann, C., Häni, C., Hensen, A., Loubet, B. ja Flechard, C. R. 2011. Are ammonia emissions from field-applied slurry substantially over-estimated in European emission inventories? *Biogeosciences Discuss* 8, 10069–10118.
- Slootsmid. 2012. Unterfußduengung. Slootsmid BV. www.slootsmid.nl (01.01.2012).
- Smith, K. A., Jackson, D. R., Misselbrook, T. H., Pain, B. F. ja Johnson, R. A. 2000. Reduction of Ammonia Emission by Slurry Application Techniques. *Journal of Agricultural Engineering Research* 77 (3), 277–287.
- Snyder. 2010. Snyder Ag Tanks. Agricultural tanks for storage, transport, & application. Snyder Industries Inc. www.snyder-net.com (01.01.2011).
- Sommer, S. G., Thomsen, I. K. 1993. Loss of nitrogen from pig slurry due to ammonia volatilization and nitrate leaching. Proceedings of First International Symposium on Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences, Wageningen, pp. 353–367.
- SQI. 2002. The Knife Roller (Crimper): An Alternative Kill Method for Cover Crops. Soil Quality. Agronomy Technical Note No. 13. Soil Quality Institute. USDA NRCS, 4 pp. soils.usda.gov/sqi/management/files/sq_atn_13.pdf (01.01.2013).
- Strautmann. 2011. Tahesõnnikulaoturi põhjakonveier. B. Strautmann & Söhne GmbH u. Co. KG. www.strautmann.de (01.01.2011).
- Stroco Agro. 2012. Focus and semi-liquid manure – A specialist from the North. HORSCH-Blog. Horsch Maschinen GmbH. www.horsch2.com/en/blog/blog-post/2012/08/30/focus-and-semi-liquid-manure-a-specialist-from-the-north/ (01.01.2012).
- Sõnniku koostise nõuded. 2011. Riigi Teataja. RTL 2003, 95, 1428.
- Särekanno, M. ja Kotkas, K. 2011. Mereadrust üldiselt ja selle kasutamise võimalustest kartuli kasvatamisel. *Agronoomia* 2010/2011, lk. 109–116. www.eria.ee/www/wp-content/uploads/2012/04/Agronoomia_2010_2011.pdf (01.01.2011).
- Zürn. 2013. Pictures. Zürn GmbH & Co. KG. www.zuern.de/ern-tevorsaeetze/products/pictures.html?L=1 (01.01.2013).
- Taimekasvatus. 1964. Autorite kollektiiv. Koostanud Tääger, A. Eesti Raamat, Tallinn, 814 lk.
- Tamm, K. ja Vettik, R. 2011. Sõnniku liigiline jaotus Eestis ja selle toitaanete rahaline väärtus. *Agronoomia* 2010/2011, lk 231–236. www.eria.ee/www/wp-content/uploads/2012/04/Agronoomia_2010_2011.pdf (01.01.2011).
- Tamm, T. 2010. Biogaasijaamad kaasaegse sõnnikukäitluse osana. Baltic Biogas OÜ, 5 lk. www.balticbiogas.ee/public/dokumentid/digestaat.pdf (01.01.2011).
- Teesalu, T., Rossner, H., Toomsoo, A., Leedu, E. ja Astover, A. 2012. Haava puitmassi jääkmuda ja selle klinkritolmuga segu mõju suviteraviljade saagile ja kvaliteedile. – *Agronoomia* 2012, lk 73–80.
- TransCAER. 2011. Anhydrous Ammonia Training Tour. American Chemistry Council, Inc. transcaer.com/aa-tour (01.01.2011).

- TTVK. 1996. Taimede toitumise ja väetamise käsiraamat. Koostanud Heino Kärblane. Tallinn, 285 lk
- Tuhalaotus. 2012. Tuhalaotus K-700 tuhalaoturiga. forum.automoto.ee/attachment.php?aid=22720 (01.01.2012).
- Ullmann's Agrochemicals. 2007. Vol. 1. Wiley-VCH, Weinheim, 932 pp. www.wiley-vch.de/books/sample/3527316043_c01.pdf (01.01.2011).
- UNIDO 1998. Fertilizer Manual. United Nations Industrial Development Organization, Int'l Fertilizer Development Center Springer, 1998. 698 pp.
- Urva, M. 2011. Traktoragregaadid. PIKK www.pikk.ee/est/maamajandus/tookeskkondjatoosuhted/tooohutus/traktoragregaadid (01.01.2011).
- Vacutec. 2012. Schlepsschlauch Vacutec-Gülletechnik. Vaku-tec Gülletechnik GmbH. www.vacutec.at/rtc-vacutec/1039 (01.01.2012).
- Van der Molen J, van Fassen H. G., Leclerc M. Y., Vriesema R, Chardon W. J. 1990. Ammonia volatilization from arable land after application of cattle slurry. 1. Field estimates. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 38, 145–158.
- Vansickle, J. 2010. Watch Out for Foaming Manure. National Hog Farmer. nationalhogfarmer.com/mag/farming_watch_foaming_manure/ (01.01.2011).
- Veekaitseõuded... 2011. Veekaitseõuded väetise- ja sõnnikuhoidlatele ning siloladustamiskohtadele ja sõnniku, silomahla ja muude väetiste kasutamise ja hoidmise nõuded. 2010. Riigi Teataja. RT I 2004, 15, 89 - jõust. 18.03.2004
- Veeseadus. 2011. Riigi Teataja. RT I 1994, 40, 655.
- Weimar, S. 2011. Platzierende N-Düngung im Ackerbau - technische Umsetzung und Ergebnisse. Tagungsband zur 55. Wintertagung. Seite 53–56. Dienstleistungszentren Ländlicher Raum Rheinland-Pfalz. www.dlr-rnh.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/ALL/BA365C0BF3517372C125783F00361E4C?OpenDocument (01.01.2011).
- Veinla, V. 1973. Loomafarmide sisetranspordi mehhaniseerimine. Tln. Valgus. 223 lk.
- Weller, S. 2011. Gründung einmal anders. Bioland Beratung. Bioland 02/2011, s 16-17. www.bioland.de/fileadmin/bioland/file/verlag/Zeitschrift/leprobe.pdf (01.01.2011).
- Wendland, M., Diepolder, M. ja Capriel, P. 2011. Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland. Gelbes Heft 9. unveränderte Auflage 2011. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p_24402.pdf (01.01.2011).
- Vepi. 2010. Slurry Processing Equipment. Oy Petsmo Products AB, 6 pp. www.petsmoproducts.fi/pdf/VEPI-en.pdf (01.01.2012).
- Werit. 2010. Industrietanks. www.werit.eu (01.01.2011).
- Wesnaes, M., Wenzel, H. ja Petersen, B. M. 2009. Life Cycle Assessment of Slurry Management Technologies. Environmental Project No. 1298 2009. Aarhus University, 266 pp. www2.mst.dk/udgiv/publications/2009/978-87-92548-20-7/pdf/978-87-92548-21-4.pdf (01.01.2012).
- West, B. S. ja Turnbull, J. E. 2000. Swine manure systems. Canada Plan Service, 19 pp. www.cps.gov.on.ca/english/plans/E3000/3700/M-3700L.pdf (01.01.2012).
- Vesterinen, P. 2003. Wood ash recycling. State of the art in Finland and Sweden. Research report. VTT Processes, Energy Production. 52 pp. www.cti2000.it/solidi/WoodAshReport%20VTT.pdf (01.01.2013).
- Viil, P, Vettik, R., Koik, E., Tamm, K. ja Siim, J. 2008. Vedelsõnnik – miks ja kuidas. EMVI PTTO 2008. aasta Tehnoloogiapäeva kogumik. As Rebellis. 80 lk. www.eria.ee/public/files/vedelsoonnik_Miks_ja_kuidas.pdf (01.01.2011).
- Viil, P, Vettik, R., Koik, E., Tamm, K. ja Siim, J., Vösa, T., Saue, T., Kadaja, J., Plakk, T. 2012. Vedelsõnnik ja mullaharimine. EMVI PTTO 2012. aasta Tehnoloogiapäeva kogumik. As Rebellis. 152 lk. www.eria.ee/www/wp-content/uploads/2013/01/Vedelsoonnik-ja-mullaharimine.pdf (01.01.2012).
- Viil, P, Vettik, R., Koik, E., Tamm, K., Kadaja, J. ja Siim, J. 2009. Vedelsõnnik – mõju mullale ja põllukultuuridele. EMVI PTTO 2009. aasta Tehnoloogiapäeva kogumik, 78 lk. www.eria.ee/www/wp-content/uploads/2012/04/vaetamine_masu_ajal.pdf (01.01.2011).
- Viil, P. 1999. Liblikõieliste haljasväetiskultuuride mõju suviteraviljade saagile ja kvaliteedile. Põllumajandus nr 6, lk. 9–11.
- Viil, P. 2003. Liblikõieliste haljasväetiste kasvatamisest kattevilja all. EMVI, 4 lk. www.eria.ee/public/files/liblikoelised.pdf (01.01.2013).
- Viil, P. ja Vösa, T. 2005. Liblikõielised haljasväetised. EMVI infoleht nr 148/2005, 16 lk. www.eria.ee/public/files/Infoleht_148.pdf (01.01.2013).
- Vogelsang. 2011a. Ausbringtechnik. Hugo Vogelsang Maschinenbau GmbH. www.vogelsang.info/fileadmin/Cumulus/Assets/prosp._ausbringtechnik_internet.pdf (01.01.2011).
- Vogelsang. 2011b. Xtill S. Hugo Vogelsang Maschinenbau GmbH. www.vogelsang.info/xtill/en/download_prospekte/Prospekt_XTill_Web_EN.pdf (01.01.2011).
- Vogelsang. 2012a. ExaCut Distributor. Hugo Vogelsang Maschinenbau GmbH. www.vogelsang.info/exacut/?L=1 (01.01.2012).
- Vogelsang. 2012b. DoubleSwing. Hugo Vogelsang Maschinenbau GmbH. www.vogelsang.info/865/ (01.01.2012).
- Wolf, H. 1998. Informationen zum AHL-Einsatz (Ammonnitrat-Harnstoff-Lösung). Amt für Landwirtschaft und Ernährung Augsburg. Agrar-MEGA. www.agrar-net.com/mega/artikel/ahl.htm (01.01.2011).
- Vredo. 2009. Vredo Selfpropelled Trac VT3936. Vredo Dodeward B.V., 20 pp. www.vredo.com/beheer/upload/file/Vredo%20Brochure_ENG_VT3936.pdf (01.01.2012).

- Vzorec Raka. 2012. Manure Loader HU 6. Vzorec Raka D.o.o. www.vzorec-raka.eu/SlikeKM/km_nhg_1.jpg (01.01.2012).
- Võsa, T. 2002. Eesti põllumajanduses kasutatavate GPS vastuvõtjate võrdlus. EMVI, 59 lk. www.eria.ee/public/files/gps.pdf (01.01.2013).
- Võsa, T. 2006. Masinagregaadi juhtimise vajalik täpsus ja navigeeri valik selle saavutamiseks. Magistritöö. EMÜ Tehnikainstituut, 56 lk. www.eria.ee/public/files/TV6saMAGistrit88.pdf (01.01.2013).
- Väetiseseadus. 2011. Riigi Teataja. RT I 2003, 51, 352.
- Yates, R., Howieson, J. ja Revell, C. 2010. Inoculating pasture legumes. FarmNote 431. Western Australian Agriculture Authority, 4 pp. www.agric.wa.gov.au/objtwr/imported_assets/content/past/fn_inoculating_pastures_legumes.pdf (01.01.2013).